



TUGAS AKHIR- TL141584

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN PERBANDINGAN LUASAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI *GALVANIC COUPLING* BAJA AISI 1045 & TEMBAGA PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN METODE *ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

AHMAD WILDAN ZAKAWALI  
NRP. 0251144000017

Dosen Pembimbing  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh November  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

**EFFECT OF ROTATION VELOCITY AND AREA RATIO  
ON GALVANIC COUPLING CORROSION  
CHARACTERISTIC OF AISI 1045 STEEL AND COOPER IN  
3.5% NaCl SOLUTION USING ROTATING CYLINDER  
ELECTRODE (RCE) METHOD**

**AHMAD WILDAN ZAKAWALI**  
NRP. 02511440000017

Advisors  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(This page intentionally left blank)*

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN  
PERBANDINGAN LUASAN TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI *GALVANIC COUPLING* BAJA  
AISI 1045 & TEMBAGA PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl  
DENGAN METODE *ROTATING CYLINDER ELECTRODE*  
(RCE)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi

Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

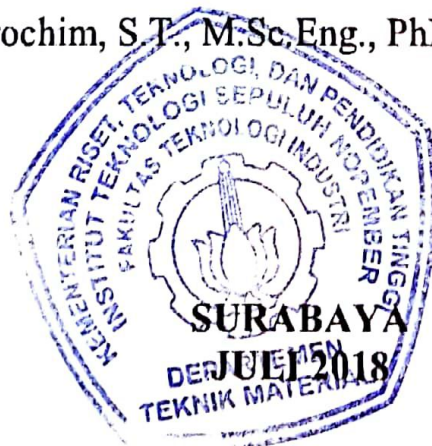
Oleh:

**Ahmad Wildan Zakawali**  
**NRP. 02511440000017**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc ..... (Pembimbing 1)

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., PhD ..... (Pembimbing 2)



**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN  
PERBANDINGAN LUASAN TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI GALVANIC COUPLING BAJA  
AISI 1045 & TEMBAGA PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl  
DENGAN METODE ROTATING CYLINDER ELECTRODE  
(RCE)**

**Nama** : Ahmad Wildan Zakawali  
**NRP** : 02511440000017  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

**Abstrak**

*Korosi galvanic coupling terjadi karena adanya kontak langsung pada sambungan dua logam yang berbeda dan kedua permukaan logam terekspos dengan lingkungan. Dalam penelitian ini dibahas variasi kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dan tembaga terhadap karakteristik korosi galvanic coupling dengan metode Rotating Cylinder Electrode (RCE) variasi kecepatan putar 0, 150, 250 RPM dan perbandingan rasio luasan baja dan tembaga 1:1, 1:4, dan 4:1. Tujuan penelitian untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar dan luasan terhadap karakteristik dan morfologi logam yang terkorosi dalam perendaman di media korosi 3,5 % NaCl. Pengujian yang telah dilakukan adalah Weight loss, Foto Makro, Mikroskop Optik, dan Uji XRD. Dari hasil weight loss di media 3,5% NaCl laju korosi tertinggi diperoleh pada kecepatan putar 250 RPM dengan perbandingan rasio luasan 1:4 yaitu sebesar 2,679 mm/yr. Laju korosi terendah diperoleh pada saat 0 RPM dengan perbandingan rasio luasan 4:1 yaitu sebesar 0,018 mm/yr. Dari gambar makro diketahui produk korosi terbentuk didekat sambungan antara baja dan tembaga. Dari hasil uji XRD produk korosi galvanic coupling yang dihasilkan adalah senyawa  $Fe_2O_3$  dan  $FeCl_3$ . Laju korosi galvanic coupling baja AISI 1045 mengalami kenaikan seiring*

*dengan kenaikan kecepatan putar dan penurunan luasan baja AISI 1045 terhadap Tembaga, namun laju korosi lebih dominan dipengaruhi oleh kecepatan putar. Pada rasio luasan 1:1 pola korosi cenderung memenuhi 1/3 bagian baja, pada rasio 1:4 tidak terlihat pola korosinya akibat korosi merata pada permukaan, pada 4:1 cenderung memanjang pola korosinya, dan semua pola diawali dari sambungan baja dengan tembaga.*

***Kata kunci : Galvanic Coupling, AISI 1045, Tembaga, Kecepatan Putaran, Perbandingan Luasan.***

**EFFECT OF ROTATION VELOCITY AND AREA RATIO  
ON GALVANIC COUPLING CORROSION  
CHARACTERISTIC OF AISI 1045 STEEL AND COOPER  
IN 3.5% NaCl SOLUTION USING ROTATING CYLINDER  
ELECTRODE (RCE) METHOD**

**Name** : Ahmad Wildan Zakawali  
**NRP** : 02511440000017  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD.

**Abstract**

*Galvanic coupling corrosion occurs because of metallic contact of two different metals and exposed directly to the environment. This study is discuss about variation of rotation velocity and area ratio AISI 1045 carbon steel and cooper on galvanic coupling corrosion characteristic using rotating cylinder electrode (RCE) with variation 0, 150, 250 RPM rotation velocity and area ratio steel and cooper 1:1, 1:4, 4:1. The purpose of this study is to analyze variation of rotation velocity and area ratio on galvanic coupling corrosion characteristic and morphology in 3.5% NaCl solution. From weight loss in 3.5% NaCl media, the highest corrosion rate was obtained on sample with 250 RPM and area ratio of 1:4 which was 2,679 mm/year. the lowest corrosion rate was obtained on sample with 0 RPM and area ratio of 4:1 which was 0,018 mm/year. From optical microscope, there are different pattern of corrosion, and all of the pattern is starting from the connection with copper. From XRD testing, galvanic coupling corrosion product shows  $Fe_2O_3$  dan  $FeCl_3$ . Characteristic of galvanic coupling corrosion was affected by area ratio. Galvanic coupling corrosion rate of AISI 1045 steel has increased in line with the increase of rotation velocity and decrease of AISI 1045*



*steel area to Copper. Corrosion rate is more dominant influenced by rotation velocity. In 1:1 area ratio had pattern on 1/3 of the steel surface. At 1:4 ratio had full pattern on the surface. At 4:1 ratio had a longitudinal pattern on the steel surface.*

***Key Word : Galvanic Coupling, AISI 1045, Cooper, Rotation Velocity, Area ratio.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul:

**“PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN PERBANDINGAN LUASAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI GALVANIC COUPLING BAJA AISI 1045 DAN TEMBAGA PADA LINGKUNGAN 3,5% NaCl DENGAN METODE ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)”**

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua penulis, Ayah Ahmad Fuad, Drs. dan Mama Sri Winarti Ningsih yang selalu mendukung penulis, memberikan berupa moral dan material serta doa.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir dan telah memberikan waktu, ilmu, bimbingan, wawasan serta materil kepada penulis.
3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc., Eng., PhD. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan dan semangat saat menulis Tugas Akhir ini.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. dan Bapak Wikan Jatimurti, S.T, M. Sc selaku dosen penguji penulis.

5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Wali penulis di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Saudara Bayu Yudha Pratama sebagai partner yang telah membantu penulis dari nol hingga selesai dalam mengerjakan tugas akhir.
8. Dwi Irma Aprilia yang selalu memberikan semangat pada penulis dan waktu 24/7 selama penulis mengerjakan tugas akhir.
9. Teman-teman Aslab Korosi dan penghuni lab korosi yang setia menemani dan menghibur setiap saat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
10. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
11. Teman-teman MT 16 yang selalu membantu penulis dengan baik dan memberikan dorongan dan semangat.
12. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengertian Korosi .....	5
2.2 <i>Galvanic Coupling</i> .....	7
2.3 Pengaruh Kecepatan Terhadap Laju Korosi .....	13
2.4 Baja Karbon .....	15
2.5 Tembaga .....	16
2.6 Larutan NaCl .....	17
2.7 <i>Rotating Cylinder Electrode (RCE)</i> .....	18
2.8 Penelitian Sebelumnya .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir .....	25
3.2 Metode Perancangan .....	26
3.3 Alat dan bahan .....	26
3.4 Prosedur Penelitian .....	27
3.5 Pengujian pada Penelitian .....	33
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisa Data .....	37
4.2 Pembahasan .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	67

5.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xvi
<b>LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	xxxi

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sel Korosi .....	5
<b>Gambar 2.2</b> <i>Galvanic coupling</i> pada logam Zn dan Platina .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Deret Galvanik beberapa logam komersial dan paduan dalam air laut .....	10
<b>Gambar 2.4</b> pengaruh luas permukaan baja dan tembaga .....	12
<b>Gambar 2.5</b> Pengaruh laju alir fluida terhadap laju korosi berbagai material pada lingkungan tertentu .....	13
<b>Gambar 2.6</b> Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi .....	17
<b>Gambar 2.7</b> Pine Research Instrumentation MSR Rotator .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Kurva laju korosi (A) AISI 1010 dan (B)SS 304 setelah perendaman 2 hari, 4 hari, dan 6 hari .....	21
<b>Gambar 2.9</b> Pengaruh rasio luasan katoda anoda terhadap arus korosi .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Morfologi permukaan (a) 304L stainless steel, 27 m/s, Sc:Sa = 1:1, (b) 1020 carbon steel, 13.7 m/s, Sc:Sa = 1:1, (c) 1020 carbon steel, 20 m/s, Sc:Sa = 1:1, and (d) 1020 carbon steel, 27 m/s, Sc:Sa = 1:1. ....	23
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir .....	25
<b>Gambar 3.2</b> (a) Pengukuran tinggi sampel luasan permukaan $100\pi \text{ mm}^2$ (b) Pengukuran diameter sampel luasan permukaan $100\pi \text{ mm}^2$ (c) Proses penimbangan berat awal sampel luasan permukaan $100\pi \text{ mm}^2$ .....	28
<b>Gambar 3.3</b> (a) Pengukuran tinggi sampel luasan permukaan $400\pi \text{ mm}^2$ (b) Pengukuran diameter sampel luasan permukaan $400\pi \text{ mm}^2$ (c) Proses penimbangan berat awal sampel luasan permukaan $400\pi \text{ mm}^2$ .....	29
<b>Gambar 3.4</b> Proses pengamplasan spesimen .....	29
<b>Gambar 3.6</b> Penimbangan berat NaCl untuk pembuatan larutan .....	31
<b>Gambar 3.7</b> Bentuk alat <i>Rotating Cylinder Electrode</i> (RCE) ...	32
<b>Gambar 3.8</b> Proses Pengujian .....	32

<b>Gambar 3.9</b> Instrumen pengamatan visual, (a) kamera digital (b) <i>metallurgical microscope</i> .....	35
<b>Gambar 3.10</b> Instrumen pengujian XRD Panalytical .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Laju Korosi Baja AISI 1045 pada <i>galvanic coupling</i> .....	39
<b>Gambar 4.2</b> Hasil pengamatan makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) dengan perbandingan luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 0 RPM.....	40
<b>Gambar 4.3</b> Hasil pengamatan makro pada AISI 1045 (kiri) dengan tembaga (kanan) dengan perbandingan luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 150 RPM .....	42
<b>Gambar 4.4</b> Hasil pengamatan makro pada AISI 1045 (kiri) dengan tembaga (kanan) dengan perbandingan luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 250 RPM .....	44
<b>Gambar 4.5</b> Hasil pengamatan setelah dibersihkan pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 0 RPM .....	45
<b>Gambar 4.6</b> Hasil pengamatan setelah dibersihkan pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 150 RPM .....	46
<b>Gambar 4.7</b> Hasil pengamatan setelah dibersihkan pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 250 RPM .....	47
<b>Gambar 4.8</b> Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 0 RPM .....	49
<b>Gambar 4.9</b> Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 150 RPM .....	51
<b>Gambar 4.10</b> Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 250 RPM .....	53
<b>Gambar 4.11</b> Morfologi permukaan spesimen baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 .....	55

<b>Gambar 4.12</b> Morfologi permukaan spesimen baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 .....	57
<b>Gambar 4.13</b> Morfologi permukaan spesimen baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 .....	59
<b>Gambar 4.14</b> Foto Alat RCE dengan spesimen rasio 1:4 pada kecepatan (a) 0 RPM, (b) 150 RPM, dan (c) 250 RPM .....	60
<b>Gambar 4.15</b> Hasil XRD pada baja AISI 1045 dengan perbandingan 1:4 250 RPM .....	62



*(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Konversi beberapa satuan dalam perhitungan laju korosi .....	7
<b>Tabel 2.3</b> Deret EMF berbagai Logam .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Perhitungan Hidrodinamik RCE pada Media Air .....	20
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan Data Hasil Uji <i>Weight Loss</i> .....	34
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan Pengujian Keseluruhan .....	36
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Perhitungan Laju Korosi Baja AISI 1045 .....	37
<b>Tabel 4.2</b> Bilangan Reynold dan Kecepatan Linier pada Setiap Kecepatan Putar .....	61
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Analisa Peak pada Pengujian XRD Baja dengan Kecepatan Putar 250 RPM dan Rasio Luasan 1:4 .....	62

*(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar belakang**

Korosi merupakan penggerusan permukaan yang terjadi pada logam yang terekspos dengan lingkungan yang reaktif. Korosi juga disebut sebagai hasil interaksi antara logam dengan lingkungan yang menimbulkan penurunan kualitas dan kualitas dari logam tersebut (Zaki, 2006). Faktor-faktor yang mempercepat laju korosi antara lain pH, temperatur, jenis aliran, dan kandungan yang terlarut dalam fluida.

Lingkungan atau medium dapat berupa air, udara, larutan asam, dan lain-lain. Fakta menunjukkan bahwa lingkungan yang paling banyak berinteraksi dengan logam adalah air, lingkungan yang mengandung ion  $\text{Cl}^-$  dan lingkungan asam. Lingkungan yang berinteraksi dengan material adalah factor utama yang memicu terjadinya korosi. (Gunaatmaja, 2011).

Korosi *galvanic coupling* atau *two-metal corrosion* adalah istilah dipakai untuk dua logam tak sejenis saling kontak (*couple*) membentuk sebuah sel korosi basah dimana logam dengan potensial lebih rendah melepaskan elektron menuju ke logam yang kekurangan elektron mengalami oksidasi (terkorosi) dan logam dengan potensial lebih tinggi mengalami reduksi dan bersifat katodik (Trethewey, 1991). Pada aplikasinya produk korosi *galvanic coupling* dapat terjadi pada pemanas air menggunakan pipa tembaga dan *tubesheets* baja. Jika terjadi korosi galvanic coupling, maka mempercepat serangan korosi pada *tubesheets*. Adanya korosi *galvanic coupling* sangat tidak diharapkan karena dapat menimbulkan kerugian besar.

Korosi tidak dapat dihindari ataupun dihilangkan. Baja karbon yang biasa digunakan sebagai material penyusun pipa pada industri minyak dan gas tidak lepas dari serangan korosi. Sehingga, dibutuhkan monitoring terhadap laju korosi yang terjadi pada pipa untuk mengetahui karakteristik korosi pada baja tersebut. Monitoring terhadap laju korosi pada suatu pipa industri dapat dilakukan pada kondisi real maupun skala laboratorium. Penentuan



laju korosi skala laboratorium dapat dilakukan dengan sistem *flow loop*, *Rotating Cylinder Electrode* (RCE), maupun *Rotating Disk Electrode* (RDE). Tetapi, sistem *flow loop* memiliki permasalahan yang kompleks, yaitu biaya yang tinggi, perawatan, dan kalibrasi fluida terhadap sampel (Pine, 2006).

Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode weight loss untuk mengetahui laju korosi terhadap baja karbon yang dikontak langsung dengan tembaga. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi kecepatan putaran dengan variasi rasio luasan antara baja AISI 1045 dengan Tembaga. Media korosi berupa larutan NaCl 3,5% sebagai lingkungan tiruan air laut. Waktu perendaman yang digunakan adalah 10 hari untuk pengujian weight loss.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dikaji pada penelitian ini dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan dan penelitian yang pernah dilakukan antara lain:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dengan tembaga terhadap karakteristik korosi *galvanic coupling* logam yang terkorosi?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan dua logam terhadap morfologi permukaan logam yang terkorosi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memperkecil ruang lingkup pada penelitian ini maka diberikan batasan masalah sebagai berikut.

1. Material baja karbon AISI 1045 dan tembaga paduan dianggap homogen dan bebas dari cacat.
2. Sampel memiliki kekasaran permukaan yang halus dan tidak memiliki cacat.
3. Kecepatan putaran konstan selama waktu pencelupan/perendaman.



#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan AISI 1045 dengan tembaga terhadap karakteristik korosi *galvanic coupling* logam yang terkorosi.
2. Menganalisis pengaruh kecepatan putar dan rasio luasan dua logam terhadap morfologi permukaan logam yang terkorosi.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penggunaan alat *Rotating Cylinder Electrode*.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

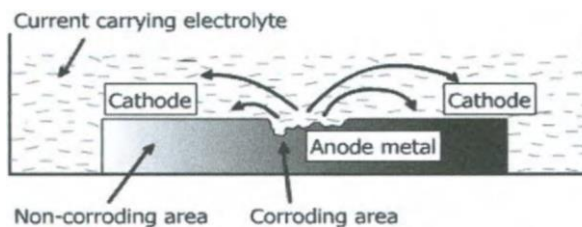
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Korosi**

Korosi adalah penghancuran atau degradasi material karena bereaksi dengan lingkungannya. Korosi adalah hal ilmiah yang pasti terjadi pada setiap material, karena korosi adalah peristiwa kembalinya logam ke bentuk asalnya sebelum logam tersebut melalui proses pemurnian. (Fontana, 1984).

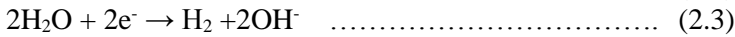
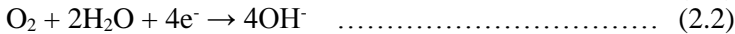
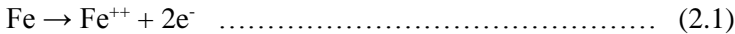
Ada beberapa elemen yang harus ada dalam sebuah mekanisme korosi seperti gambar 2.1, yaitu adanya anoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi dan tempat dimana logam terkorosi, kemudian terdapat katoda yang merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dengan menerima elektron dari hasil reaksi oksidasi, lalu adanya elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda dan terdapatnya konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda.



**Gambar 2.1** Sel Korosi (Zaki, 2006)

Korosi umumnya terjadi pada material yang berada pada temperatur lingkungan yang terjadi pada kondisi berair dan yang bersifat elektrokimia. Proses korosi melibatkan pelepasan elektron (oksidasi) dari logam (Persamaan 2.1) dan konsumsi dari elektron elektron tersebut oleh reaksi reduksi lainnya, seperti reduksi oleh oksigen atau air (Persamaan 2.2 dan 2.3) masing – masing sebagai berikut : (Peabody, 2001).





Salah satu kegiatan dari *corrosion monitoring* adalah mengetahui laju korosi pada suatu logam, sehingga dapat memprediksi kapan dan berapa lama logam tersebut mampu bertahan dari proses korosi. Untuk mengetahui laju korosi maka perlu menggunakan metode *weight loss* atau pengurangan berat awal dengan berat akhir setelah pengujian. Menurut ASTM G1-03 setelah memperoleh berat akhir pada proses percobaan maka untuk memperoleh laju korosi maka menggunakan rumus:

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

W: berat yang hilang (g)

D: densitas dari sampel uji yang digunakan ( $\text{g/cm}^3$ )

A: luas area dari sampel uji yang digunakan ( $\text{cm}^2$ )

T: waktu ekspos (jam)

K: konstanta faktor

**Tabel 2.1** Besaran Konstanta Faktor yang Digunakan Berdasarkan Satuan (ASM Metal Handbook, 1987)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
Mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^3$
Inches per month (ipm)	$2.87 \times 10^2$
Milimeters per year (mm/yr)	$8.67 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m/yr}$ )	$8.67 \times 10^7$
Picometers per second (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
Grams per square meter per hour ( $\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$ )	$1.00 \times 10^4 \times \rho$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times \rho$
Micrograms per square meter per second ( $\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times \rho$
P adalah densitas dalam satuan $\text{g/cm}^3$	



konversi masing-masing satuan yang biasa digunakan dalam perhitungan laju korosi ditunjukkan oleh tabel 2.2 seperti berikut.

**Tabel 2.2** Konversi Beberapa Satuan dalam Perhitungan Laju Korosi (ASM Metal Handbook, 1987)

Unit	Konversi ke					
	mdd	$\text{g/m}^2/\text{d}$	$\mu\text{m/yr}$	$\text{mm/yr}$	$\text{mils/yr}$	$\text{In/yr}$
mdd	1	0.1	$36.5/d$	$0.0365/d$	$1.144/d$	$0.00144/d$
$\text{g/m}^2/\text{d}$	10	1	$365/d$	$0.365/d$	$14.4/d$	$0.0144/d$
$\mu\text{m/yr}$	$0.0274d$	$0.00274d$	1	0.001	0.0394	0.0000394
$\text{mm/yr}$	$27.4d$	$2.74d$	1000	1	39.4	0.0394
$\text{mils/yr}$	$0.696d$	$0.0696d$	25.4	0.0254	1	0.001
$\text{in/yr}$	$696d$	$69.6d$	$2.54 \times 10^4$	25.4	1000	1

Secara garis besar jenis korosi yang menyerang pada logam dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yang sebagai berikut : (Fontana, 1984)

- *Uniform attack (homogen)*
- *Galvanic* (korosi sambungan dua metal)
- *Crevice corrosion* (korosi celah)
- *Pitting corrosion* (korosi lubang)
- *Intergranular corrosion* (korosi batas butir)
- *Erosion corrosion* (korosi erosi)
- *Stress corrosion cracking*
- *Biological corrosion*

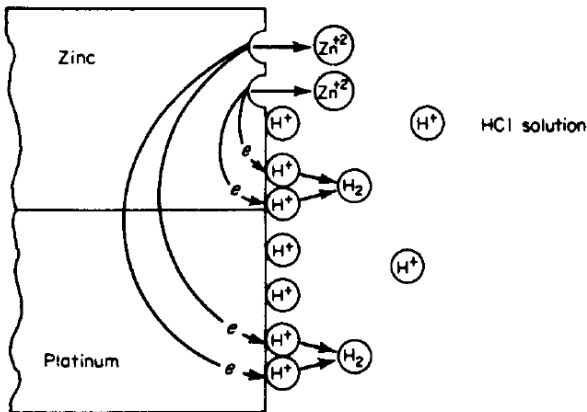
## 2.2 *Galvanic Coupling*

Korosi *galvanic coupling* adalah istilah dipakai untuk dua logam tak sejenis saling kontak (*couple*) membentuk sebuah sel korosi basah dimana logam dengan potensial lebih rendah melepaskan elektron menuju ke logam yang kekurangan elektron mengalami oksidasi (terkorosi) dan logam dengan potensial lebih tinggi mengalami reduksi dan bersifat katodik (Trethewey, 1991).



Dalam kondisi praktek di lapangan kontak antara dua logam yang berbeda sangat dihindari. Sebagai contoh adalah pada system perpipaan yang terdapat pada kamar mesin dan pada system perpipaan pada bangunan. Padahal secara teoritis berdasarkan ilmu korosi hubungan kedua logam yang berbeda menimbulkan tambahan efek korosi. Dengan kata lain bahwa *galvanic coupling* atau sambungan dua logam berbeda merupakan factor yang sangat berpengaruh dalam proses korosi.

*Galvanic coupling* yang dimaksud diatas sebagai contoh adalah jika logam Zn dikopel dengan platina dan diletakkan didalam larutan HCl seperti pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Galvanic coupling pada logam Zn dan Platina  
(Fontana, 1987)

Dari Gambar 2.2 dapat dijelaskan bahwa gas hidrogen yang terjadi paling banyak adalah pada permukaan platina. Platina mempunyai potensial lebih tinggi jika dibandingkan dengan logam Zn. Dengan demikian didalam larutan HCL terjadi aliran listrik dari platina menuju logam Zn. Akibat aliran listrik ini timbul aliran elektron dengan arah kebalikannya. Elektron yang mengalir ke



platina digunakan ion hidroksil didalam larutan HCL berevolusi menjadi gas hidrogen (Fontana, 1984)

Contoh dari korosi galvanik ini adalah pemanas air menggunakan pipa tembaga dan *tubesheets* besi. Jika terjadi korosi galvanik, maka mempercepat serangan korosi pada *tubesheets*. Umur pemanas lebih lama apabila *tubesheets* tebal. Ketika lingkungan lebih korosif maka *tubesheets* yang terbuat dari tembaga lebih dibutuhkan supaya lebih tahan lama (Fontana, 1984). Contoh lainnya yaitu patung kemerdekaan di Amerika, ketika dibangun kulit atau bagian luar patung yang terbuat dari tembaga disangga atau terpasang pada suatu jaringan kerangka dari besi. Sebagai tambahan, antara pelana tembaga dan besi penyangganya terdapat isolasi berupa aspal. Sesudah kurang lebih seratus tahun berlalu, lapisan aspal itu rusak sehingga akibat penyusupan air korosi galvanik segera dimulai. Kasus korosi seperti di atas merupakan masalah korosi paling umum terjadi; yakni korosi akibat penggandengan tembaga dan paduan berbasis tembaga dengan besi dan baja. Karena harganya yang murah serta mudah diperoleh (Trethewey, 1991).

Masing-masing logam memiliki potensial yang lazim disebut *Potential Electromotive* (EMF). Metal noble biasanya memiliki potensial elektromotif negatif,  $H_2$  memiliki EMF 0 volt. Sel galvanik tidak terjadi apabila kedua metal yang berbeda tersebut tidak berhubungan langsung walaupun keduanya berada di dalam elektrolit yang sama (open circuit). Standar *Electromotive series* ini dapat berubah akibat pengaruh perubahan temperatur, perubahan konsentrasi zat-zat yang terlarut, kondisi permukaan elektroda, dan lain-lain (Widharto, 2001).



↑ Noble or cathodic	Platinum
	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	[Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	[Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	[18-8 Mo stainless steel (passive)
	[18-8 stainless steel (passive)
	[Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	[Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	[Nickel (passive)
	Silver solder
	[Monel (70 Ni, 30 Cu)
	Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	[Brasses (Cu-Zn)
	[Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	[Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
Active or anodic ↓	[Inconel (active)
	[Nickel (active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin solders
	[18-8 Mo stainless steel (active)
	[18-8 stainless steel (active)
	Ni-Resist (high Ni cast iron)
	Chromium stainless steel, 13% Cr (active)
	[Cast iron
	[Steel or iron
	2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
	Cadmium
	Commercially pure aluminum (1100)
	Zinc
	Magnesium and magnesium alloys

**Gambar 2.3** Deret Galvanik beberapa logam komersial dan paduan dalam air laut (Fontana, 1984)

**Tabel 2.3** Deret EMF berbagai Logam (Widharto,2001)

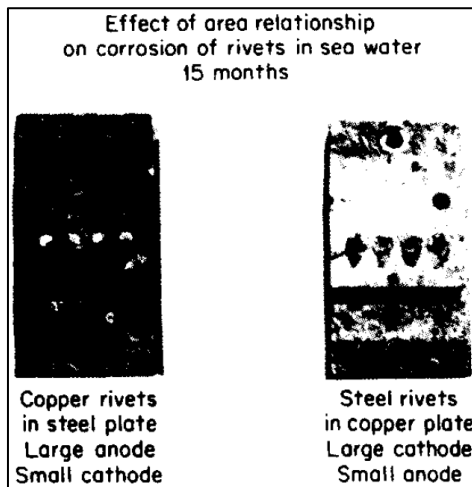
Metal-metal ion equilibrium	Electrode potential vs normal hydrogen electrode at 25°C, volts
Au-Au <sup>+3</sup>	+1.498
Pt-Pt <sup>+2</sup>	+1.200
Pd-Pd <sup>+2</sup>	+0.987
Ag-Ag <sup>+</sup>	+0.799
Hg-Hg <sup>+2</sup>	+0.778
Cu-Cu <sup>+2</sup>	+0.337
H <sub>2</sub> -H <sup>+</sup>	0.000
Pb-Pb <sup>+2</sup>	-0.126
Sn-Sn <sup>+2</sup>	-0.136
Ni-Ni <sup>+2</sup>	-0.250
Co-Co <sup>+2</sup>	-0.277
Cd-Cd <sup>+2</sup>	-0.403
Fe-Fe <sup>+2</sup>	-0.440
Cr-Cr <sup>+3</sup>	-0.744
Zn-Zn <sup>+2</sup>	-0.763
Al-Al <sup>+3</sup>	-1.662
Mg-Mg <sup>+2</sup>	-2.363
Na-Na <sup>+</sup>	-2.714
K-K <sup>+</sup>	-2.925

Gambar 2.3 menunjukkan deret EMF dari logam. Semakin keatas semakin noble atau katodik dan semakin kebawah semakin aktif atau anodik. Sebagai contoh misalnya pada kopel baja 1045 dan tembaga memiliki nilai beda potensial 0.32V. Kopel baja 1045 dan SS 304 memiliki nilai beda potensial 0.42V. dari nilai beda potensial terlihat pasangan Baja 1045-SS 304 memiliki beda potensial lebih tinggi dibandingkan baja-tembaga, maka semakin mudah terjadi reaksi anodik dan katodik (Rooij. 1989).

Faktor penting lainnya dalam korosi galvanik adalah pengaruh luasan, rasio dari luasan anoda dan katoda. Rasio paling dihindari adalah ukuran luasan katoda yang besar dan ukuran



luasan anoda yang kecil. Pada aliran arus dalam sel ini, arus ini lebih besar untuk luasan elektroda yang kecil dibanding katoda yang besar. Semakin besar arus pada anoda maka laju korosi semakin besar pula. Pada gambar 2.4 diperlihatkan contoh plat yang diberikan paku keling tembaga dan baja yang saling berkebalikan. Kemudian diletakkan pada lingkungan air laut selama 15 bulan pada waktu yang sama. Pada sebelah kiri plat baja dengan paku keling tembaga, pada sebelah kanan plat tembaga dengan paku keling baja. Tembaga lebih mulia dibanding baja, atau lebih tahan terhadap lingkungan air laut. Pada plat baja sebelah kiri mengalami korosi, tetapi memiliki sambungan yang masih kuat. Pada plat tembaga sebelah kanan merupakan rasio luasan yang tidak menguntungkan karena paku keling baja telah mengalami korosi.



**Gambar 2.4** pengaruh luas permukaan baja dan tembaga  
(Fontana, 1984)

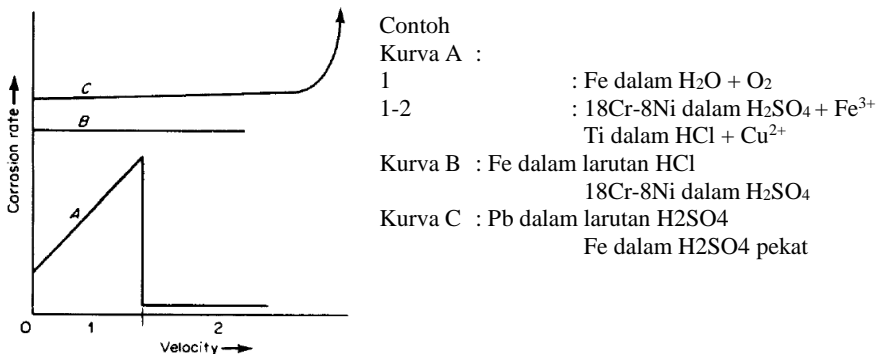
### **2.3 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi**

Laju korosi terhadap suatu logam dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Proses korosi dapat dipercepat secara signifikan



dalam kondisi lingkungan yang ekstrim seperti pada temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan aliran yang turbulen. (Pine, 2006)

Pengaruh kecepatan pada laju korosi sama seperti pengaruh penambahan *oxidizer*, kompleks dan bergantung kepada sifat logam dan kondisi lingkungannya. Pada gambar 2.5 menunjukkan ketika mengalami agitasi atau kecepatan larutan meningkat.



**Gambar 2.5** Pengaruh Laju Alir Fluida terhadap Laju Korosi Berbagai Material pada Lingkungan Tertentu (Fontana, 1987)

Proses korosi yang dikontrol oleh polarisasi aktivasi, agitasi dan laju alir tidak memiliki efek terhadap laju korosi yang ditunjukkan pada kurva B. Proses korosi dengan kontrol difusi katodik, agitasi mengakibatkan laju korosi karena adanya penambahan atau oksigen yang terlarut dalam asam atau air. Ketika logam telah dalam keadaan pasif (terlindungi dengan lapisan oksida) maka laju korosi menurun seperti ditunjukkan oleh kurva A. Beberapa logam dalam media tertentu membentuk lapisan sulfat pelindung, namun bersifat lemah. Hal ini terjadi pada timbal dan baja yang berada di lingkungan asam sulfat. Ketika material berada di lingkungan yang sangat korosif dengan laju alir yang tinggi,





maka perusakan lapisan pelindung secara mekanik dapat terjadi seperti ditunjukkan oleh kurva C (Fontana, 1987).

Fluida yang melintas di permukaan logam digambarkan seperti gambar beberapa lapisan yang masing-masing bergerak dengan kecepatan berbeda (gambar 2.6). Lapisan yang paling lambat adalah lapisan yang paling dekat dengan permukaan logam tempat gaya-gaya gesekan dan tumbukan-tumbukan molekul dengan bagian permukaan yang tidak beraturan paling besar, dan kecepatan lapisan itu meningkat hingga maksimum pada jarak tertentu dalam badan fluida. Efek ini dikenal sebagai aliran laminar dan akibat yang ditimbulkannya bermacam-macam.

- a) Suatu kesetimbangan terbentuk pada permukaan logam yang dalam keadaan statis bila proses katodik dan anodik berjalan dengan laju yang sama besar. Apabila ion-ion yang terkorosi dipindahkan dari sistem oleh elektrolit yang mengalir maka kesetimbangan tidak terbentuk sehingga meningkatkan laju pelarutan.
- b) Aliran yang cukup kuat mengakibatkan bertambahnya oksigen, hal ini mengakibatkan adanya kontak logam dengan oksigen sehingga membentuk lapisan oksida yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam.
- c) Laju aliran meningkatkan jumlah ion-ion agresif seperti klorida dan sulfida.
- d) Jika di dalam fluida terdapat partikel-partikel solid, lapisan mungkin mengalami penggerusan sehingga korosi meningkat.

Profil kecepatan fluida dikategorikan menjadi aliran laminar atau turbulen dapat diketahui dari *reynold number* ( $Re$ ) dari fluida tersebut dengan persamaan

$$Re = U_{cyl} d_{cyl} \frac{\rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan  $U_{cyl}$  adalah kecepatan linier (cm/s),  $d_{cyl}$  adalah diameter (cm),  $\rho$  adalah densitas larutan ( $g/cm^3$ ), dan  $\mu$  adalah viskositas larutan ( $g/cm^3s$ ). Sehingga, dari persamaan tersebut didapatkan

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



nilai kritis  $Re$  untuk aliran. Menurut Pine Research (2006) Terjadi perubahan dari aliran laminar ke aliran turbulen ketika berada pada nilai  $Re$  200, sehingga maksimal untuk mendapatkan aliran laminar adalah 10 RPM.

Akibat laju aliran yang tinggi mengakibatkan hancurnya aliran laminar dan terjadinya turbulensi. Molekul-molekul fluida kini memberikan tekanan langsung pada logam dan benturan-benturan mengakibatkan keausan mekanik. Kecepatan adalah salah satu yang menyebabkan suatu aliran mengalami turbulensi, geometri sistem dapat menyumbangkan peran besar dalam menentukan terjadinya serangan (Trethewey, 1991).

## **2.4 Baja Karbon**

Baja karbon mengalami korosi hampir di semua lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60 persen. Laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan; tetapi yang paling penting adalah pemasukan oksigen, pH, dan hadirnya ion-ion agresif, terutama oksida-oksida belerang dan klorida. Penambahan kandungan karbon, mangan, dan silikon cenderung mengurangi laju korosi.

Didalam air tawar, laju korosi sebesar 0,05 mm per tahun sudah biasa; walaupun laju itu mungkin turun hingga 0,01 mm per tahun bila endapan mengandung kapur sudah terbentuk. Dalam air laut, laju korosi rata-rata agaknya berada di daerah antara 0,1 hingga 0,15 mm per tahun. Tetapi kalau serangan berupa sumuran, penetrasi yang terjadi jauh lebih dalam. Apabila di situ terdapat kerak, atau bila lokasinya berada di daerah pasang surut sehingga selalu mengalami keadaan basah/kering yang berulang, angka diatas semakin besar.

Beberapa faktor yang mempengaruhi korosi baja karbon di air laut adalah ion klorida. Ion klorida sangat korosif terhadap logam mengandung besi. Baja karbon dan logam-logam besi biasa tidak dapat dipasifkan. Garam air laut mengandung klorida lebih dari 55%. Kecepatan, laju korosi meningkat, khususnya bila ada aliran olakan. Air laut yang bergolak dapat menghancurkan lapisan



penghalang karat. Selain itu benturan-benturan dapat mempercepat penetrasi (Trethewey, 1991)

## **2.5 Tembaga**

Tembaga dan beberapa paduannya merupakan logam paling tua yang digunakan untuk perkakas. Logam ini telah memberikan unjuk kerja yang baik dalam berbagai kondisi lingkungan, dan barang-barang seni yang dapat dilihat di museum-museum membuktikan bahwa mutu bahan ini mempunyai umur yang panjang.

Tembaga murni adalah logam yang sangat lunak dan mudah ditempa. Logam ini biasanya dipadukan dengan sedikit logam lain seperti Be, Te, Ag, Cd, As dan Cr untuk mengubah sifat-sifatnya pada penerapan-penerapan tertentu; sambil tetap mempertahankan sebagian besar ciri khas logam murni tersebut. Penambahan Zn, Sn, dan Ni dalam jumlah yang jauh lebih besar dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik logam, namun tetap mempertahankan ketahanan terhadap korosinya yang istimewa dalam kondisi-kondisi kerja yang lebih buruk.

Penggunaan tembaga dan paduan-paduannya ada bermacam-macam. Logam ini digunakan untuk struktur-struktur yang berada di udara terbuka, misalnya untuk patung-patung atau ornamen-ornamen bangunan yang indah. Bahan ini digunakan untuk komponen-komponen yang terendam dalam air tawar atau air laut seperti dalam instalasi penukar panas dan kondenser, juga dalam industri kimia dan pusat pembangkit listrik, atau terkubur di bawah tanah pada sistem distribusi air.

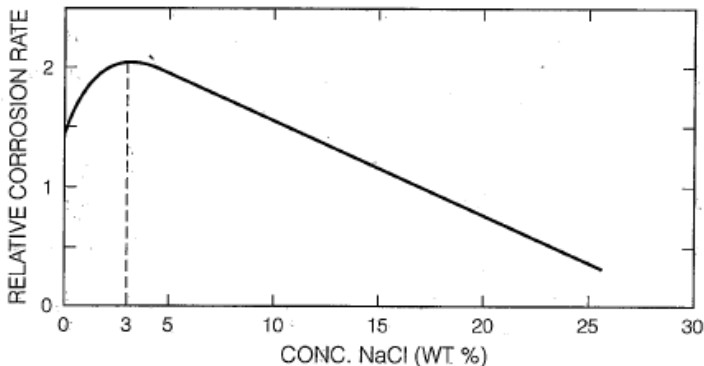
Di udara terbuka, tembaga membentuk produk korosi berwarna hijau yang disebut patina yang biasanya berupa tembaga sulfat basa,  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ , walaupun di lingkungan laut patina mungkin mengandung klorida, atau karbonat bila di berada kawasan industri (Trethewey, 1991).

## **2.6 Larutan NaCl sebagai Media Korosi**



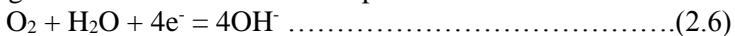
Larutan NaCl banyak digunakan pada berbagai macam pengujian korosi yang bertujuan untuk mensimulasikan logam pada kondisi yang sebenarnya pada lingkungan air laut. Korosi yang terjadi pada larutan NaCl disebabkan karena adanya anion dan kation dari larutan NaCl yang meningkatkan konduktifitas larutan tersebut. Sehingga, elektron semakin mudah untuk bergerak dari anoda menuju ke katoda.

Konsentrasi NaCl juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen pada larutan. Semakin tinggi kelarutan NaCl, maka kelarutan oksigen semakin berkurang. Sehingga, mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada logam pada larutan NaCl teraerasi. Pada larutan dengan kadar NaCl 3 % sampai dengan 3,5 % merupakan laju korosi maksimum pada larutan NaCl. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 2.6 yang menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi. (Jones, 1996)



**Gambar 2.6** Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi (Jones, 1996)

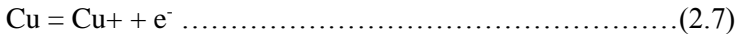
Tembaga yang di letakkan di dalam larutan NaCl mengalami reaksi dalam katoda seperti berikut.



Di sisi lain, terjadi reaksi anoda yang melepaskan ion cuprous.

---

## BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA



Sehingga ion cuprous bereaksi dengan ion klor dalam larutan sehingga membentuk cuprous chloride pada permukaan logam. Adanya CuCl pada permukaan logam dapat menurunkan laju dari reaksi anoda sampai terbentuk  $\text{CuCl}_2^-$ ,  $\text{CuCl}_2^-$  terbentuk karena adanya reaksi CuCl dengan ion klor dalam larutan.  $\text{CuCl}_2^-$  terlarut dalam larutan. Sehingga reaksi oksidasi tembaga normal kembali. Laju korosi tembaga dalam media 3,5% NaCl adalah sebesar 0,443 mm/yr (Sherif. 2012)

Ketika baja direndam kedalam larutan NaCl. Karakteristiknya berbeda tergantung dengan jumlah ion klorida didalam media korosi. Jumlah NaCl berpengaruh pada jumlah oksigen yang terlarut didalam larutan. Pada anoda terjadi reaksi terbentuknya ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan melepas 2 elektron. Pada katoda terjadi reaksi pembentukan ion hidroksil. Sehingga terjadi reaksi terbentuknya  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Selain itu ion Fe bereaksi dengan ion klor, sehingga terbentuk  $\text{FeCl}_2$  Pada penelitian dengan perendaman baja didalam larutan NaCl 3% selama 21 hari menghasilkan nilai laju korosi sebesar 0,808 mpy (May. 2016)

## 2.7 *Rotating Cylinder Electrode*

*Rotating Cylinder Electrode* (RCE) merupakan alat simulasi yang praktis untuk mensimulasikan beberapa proses diantaranya proses elektrokimia, voltametri, elektrodposisi dan korosi. Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa RCE merupakan solusi dari alat simulasi *flow loop* yang digunakan sebagai alat simulasi proses korosi namun, karena proses penginstalan yang rumit dan tidak praktis untuk dilakukan maka RCE menjadi pilihan alat simulasi korosi. Metode RCE telah ditinjau sejak tahun 1982-1995.(Gabe dkk, 1997). Skema gambar RCE dapat dilihat pada gambar 2.10 Skema alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE).



**Gambar 2.7** Pine Research Instrumentation MSR Rotator

Untuk mensimulasikan aliran pada pipa menggunakan alat RCE dibutuhkan data fluida yang mengalir pada pipa tersebut yang nantinya menjadi elektrolit pada wadah dan kecepatan linear aliran yang dikonversi dalam bentuk *radian per minutes* (RPM) dengan persamaan sebagai berikut (PINE, 2006),

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$U_{cyl}$  : Kecepatan linear (cm/s)

$\omega$  : Kecepatan putar ( rad/s)

$r_{cyl}$  : Jari-jari luar spesimen (cm)

$d_{cyl}$  : Diameter luar spesimen (cm)

F : Kecepatan putar (RPM)

## **2.8 Penelitian Sebelumnya**

PINE RESEARCH INSTRUMENT pada 2006 melakukan penelitian RCE dengan variasi kecepatan putar mulai dari 5 RPM sampai 2000 RPM pada temperatur ruangan menggunakan fluida air, preparasi speimen yang dilakukan PINE menggunakan diameter 12 mm, dari percobaan tersebut didapatkan hasil grafik linear antara kecepatan putaran dengan arus, hal tersebut



menunjukkan bahwa laju korosi berbanding lurus dengan kecepatan putar karena arus berbanding lurus dengan laju korosi.

**Tabel 2.3** Perhitungan Hidrodinamik RCE pada Media Air (PINE,2006)

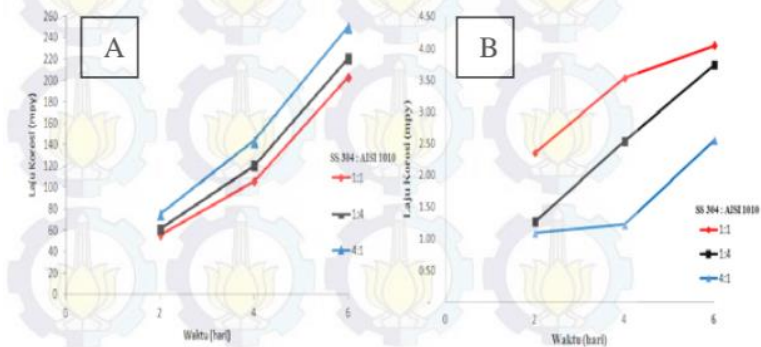
Rotation Rate $F$ (RPM)	Rotation Rate $\omega$ (rad/s)	Surface Velocity* $U_{\text{rot}}$ (cm/s)	Wall Sheer Stress* $\tau_{\text{Cyl}}$ (g/cm <sup>2</sup> s)	Reynolds Number* $Re$ (unitless)
5	0.524	0.39	0.0035	66
10	1.047	0.79	0.0113	131
20	2.094	1.57	0.0366	263
50	5.236	3.93	0.1737	657
100	10.47	7.85	0.5642	1315
200	20.94	15.7	1.8332	2629
250	26.18	19.6	2.6789	3287
500	52.36	39.3	8.7039	6573
1000	104.7	78.5	28.279	13146
2000	209.4	157	91.879	26293
3000	314.2	236	183.05	39439
4000	418.9	314	298.52	52586

Tabel 2.3 menunjukkan variasi kecepatan putar (RPM) yang digunakan adalah 5 rpm hingga 2000 rpm, kenaikan kecepatan putar ini berbanding lurus dengan tegangan geser yang dihasilkan, artinya semakin tinggi kecepatan putar maka tegangan geser yang dihasilkan semakin tinggi.

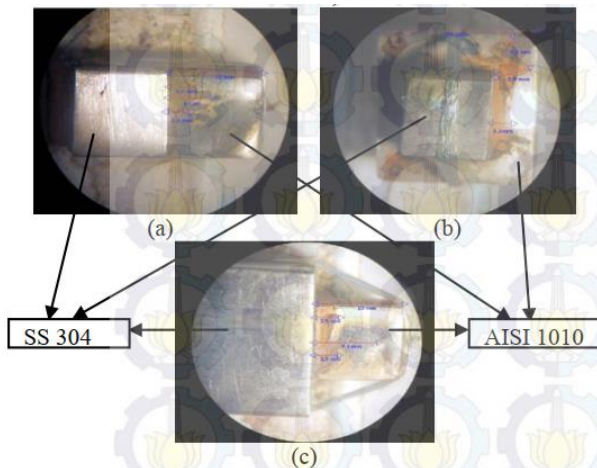
Nouval Muhammad (2012) melakukan penelitian tentang Pengaruh Rasio Luasan Terhadap Perilaku Korosi *Galvanic Coupling* Baja *Stainless Steel* 304 & Baja Karbon Rendah AISI 1010 menggunakan bentuk material berbentuk balok dengan kondisi statis. Didapatkan hasil Setelah dilakukan uji immersi selama 2 hari, 4 hari, dan 6 hari di media korosi 3,5% NaCl laju korosi terkecil pada baja karbon rendah AISI 1010 terjadi pada perbandingan 1:1. Sedangkan laju korosi terbesar terjadi pada perbandingan 4:1. Pengukuran jarak penyerangan kritis korosi *galvanic coupling* hanya dilakukan setelah uji immersion di media korosi 3,5% NaCl saja. Hasil pengamatan menunjukkan korosi pada AISI 1010 dimulai dari sambungan, sehingga sampai satu jarak tertentu perambatan menjadi seragam (*uniform corrosion*). Pada perbandingan luasan 1:1 baja karbon rendah AISI 1010 memiliki jarak penyerangan kritis yang meningkat secara



signifikan dimulai dari panjang 3,1 mm menjadi 9 mm sampai 10 mm dengan ketebalan produk korosi rata-rata sebesar 116  $\mu\text{m}$ .



**Gambar 2.8** Kurva Laju Korosi (A) AISI 1010 dan (B) SS 304 setelah Perendaman 2 Hari, 4 Hari, dan 6 Hari (Nouval, 2012)



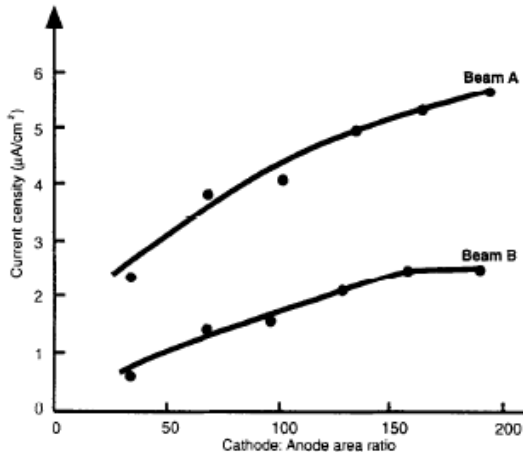
**Gambar 2.9** Pola Persebaran Korosi dari Galvanic Coupling Baja AISI 1010 dan SS 304

Arya (1995) melakukan percobaan mengenai pengaruh rasio luasan katoda dan anoda dan jarak katoda anoda pada arus korosi galvanik baja pada lingkungan klorida. Menggunakan



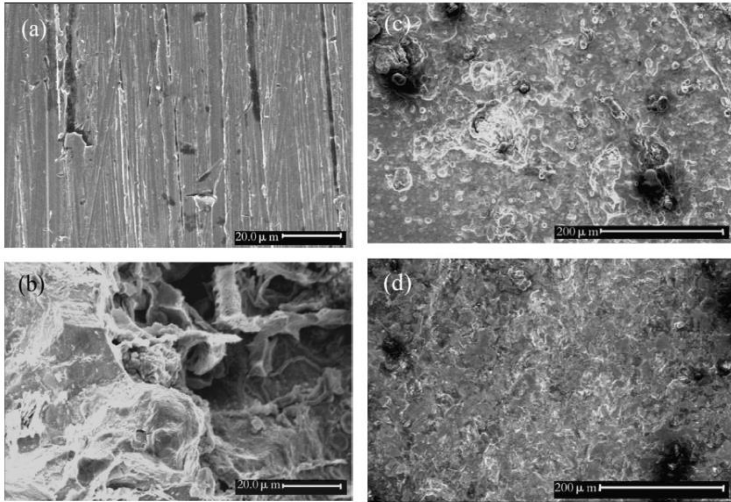


logam *mild steel* sebagai anoda dan *stainless steel* AISI 316 sebagai katoda. Perbandingan rasio yang digunakan 33, 66, 99, 132, 165, 198. Pada gambar 2.9 dapat terlihat semakin besar rasio luasan katoda anoda maka arus korosi semakin meningkat.



**Gambar 2.9** Pengaruh rasio luasan katoda anoda terhadap arus korosi (Arya, 1995)

Dong (2010) melakukan percobaan mengenai korosi *galvanic coupling* pada material baja 1020 dengan *stainless steel* 304L pada lingkungan larutan klorida. Setelah melakukan percobaan dan dilakukan pengujian SEM maka didapatkan hasil morfologi dari baja 1020 dan SS 304L sesuai pada gambar 2.10. dari penelitian Dong didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar rasio dari katoda terhadap anoda dan semakin besar kecepatan fluida meningkatkan laju korosi.



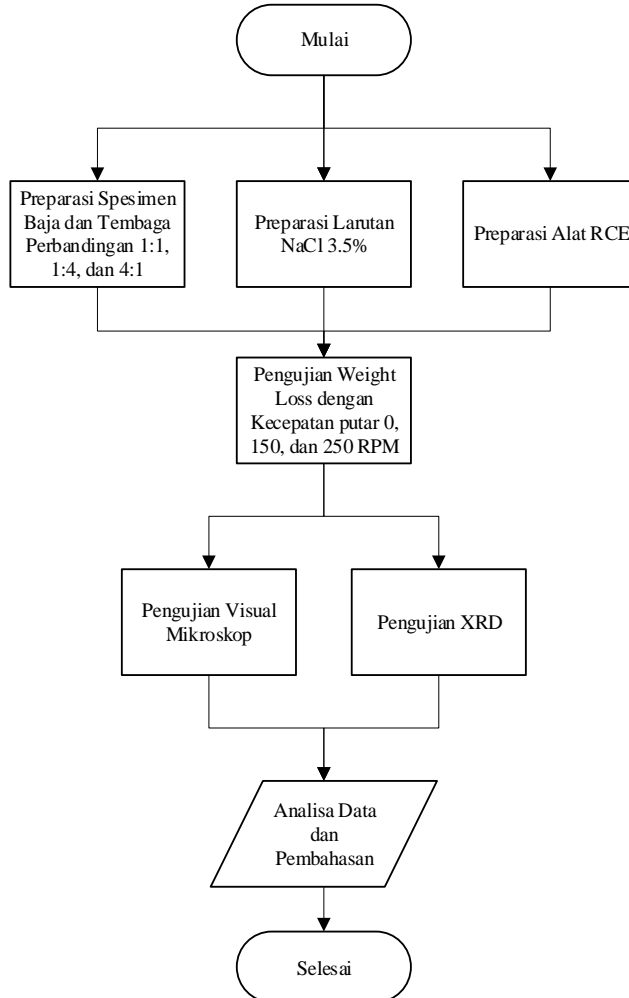
**Gambar 2.10** Morfologi permukaan (a) 304L stainless steel, 27 m/s, Sc:Sa = 1:1, (b) 1020 carbon steel, 13.7 m/s, Sc:Sa = 1:1, (c) 1020 carbon steel, 20 m/s, Sc:Sa = 1:1, and (d) 1020 carbon steel, 27 m/s, Sc:Sa = 1:1. (Dong,2010)



*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODELOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Percobaan



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Metode Perancangan

Metode yang digunakan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal dan informasi dari penelitian sebelumnya yang telah mempelajari mengenai korosi *galvanic coupling*, khususnya penelitian yang menggunakan rasio luasan anoda-katoda dan kecepatan putar sebagai variabel bebas. Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik korosi *galvanic coupling* dan melakukan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya serta memberikan gambaran pada pelaku industri mengenai pengaruh luasan dan kecepatan putar dalam *galvanic coupling*.

#### 2. Eksperimen

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah weight loss, Visual dan XRD.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat Percobaan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Kertas amplas
2. Satu set peralatan *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) pada toples kaca
3. RPM meter
4. Timbangan digital
5. Gelas beaker 1000 ml
6. Gelas beaker 500 ml
7. Teflon
8. Mesin bor
9. Mata bor



10. Lem Dextone

11. Obeng set

### **3.3.2 Bahan Percobaan**

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Baja AISI 1045
2. Tembaga Paduan (63% Cu, 37% Zn)
3. Aquades
4. Larutan NaCl 3,5%

## **3.4 Prosedur Penelitian**

### **3.4.1 Preparasi Spesimen Uji**

Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1045 dan tembaga paduan. Langkah-langkah pembuatan specimen sebagai berikut :

1. Spesimen dipotong dengan ukuran 1cm (Gambar 3.2) dan ukuran 4cm (Gambar 3.3) sehingga sesuai dengan rasio 1:1, 1:4, dan 4:1.
2. Spesimen uji dilubangi pada bagian tengahnya menggunakan bor sebagai tempat poros batang silinder.
3. Kemudian, spesimen uji diampas dengan kertas amplas grade 80, 100, 320, dan 500, untuk menghilangkan lapisan produk korosi yang terdapat pada permukaan yang berpotensi mengganggu proses perhitungan laju korosi sesuai dengan Gambar 3.4.
4. Setelah di amplas, sampel di pasang pada RCE (*Rotating Cylinder Electrode*), kemudian tutup bagian poros RCE yang tidak tertutup dengan sampel menggunakan Teflon.



(a)

(b)



(c)

**Gambar 3.2** (a) Pengukuran Tinggi Sampel Luasan Permukaan  $100\pi \text{ mm}^2$  (b) Pengukuran Diameter Sampel Luasan Permukaan  $100\pi \text{ mm}^2$  (c) Proses Penimbangan Berat Awal Sampel Luasan Permukaan  $100\pi \text{ mm}^2$



(a)

(b)



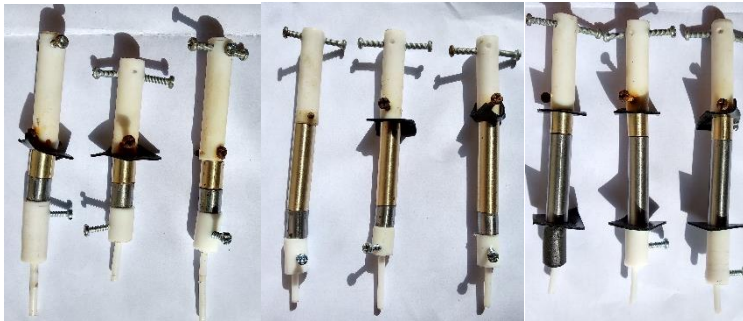
(c)

**Gambar 3.3** (a) Pengukuran Tinggi Sampel Luasan Permukaan  $400\pi \text{ mm}^2$  (b) Pengukuran Diameter Sampel Luasan Permukaan  $400\pi \text{ mm}^2$  (c) Proses Penimbangan Berat Awal Sampel Luasan Permukaan  $400\pi \text{ mm}^2$





**Gambar 3.4** Proses pengamplasan spesimen



**Gambar 3.5** Spesimen Dengan Perbandingan Rasio Baja dan Tembaga Luasan 1:1, 1:4, dan 4:1

### 3.4.2 Preparasi Larutan 3,5% NaCl

Pada penelitian ini, larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5 % sebanyak 1000 ml. Langkah-langkah pembuatan larutan NaCl 3,5 % 1000 ml adalah sebagai berikut:

1. Timbang garam NaCl sebanyak 35 gram dengan menggunakan timbangan digital (Gambar 3.5).
2. Isi gelas beaker dengan aquades sampai volume 500 ml.
3. Tuangkan garam NaCl ke dalam gelas beaker.
4. Aduk larutan garam NaCl agar didapatkan larutan yang homogen dan garam NaCl dapat larut dengan sempurna.
5. Tambahkan aquades 500 ml hingga mencapai 1000 ml
6. Larutan siap digunakan.



**Gambar 3.6** Penimbangan Berat NaCl untuk Pembuatan Larutan

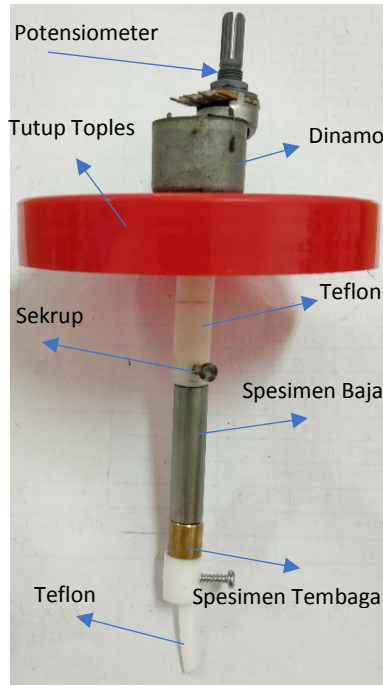
### 3.4.3 Preparasi Alat RCE

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Langkah-langkah dalam preparasi RCE adalah sebagai berikut:

1. Alat ini terdiri dari dinamo yang dipasang pada bagian atas tutup toples untuk memberikan putaran pada poros.
2. Lalu potensiometer untuk memberikan hambatan agar putaran dapat disesuaikan agar konstan serta sesuai dengan 150 RPM dan 250 RPM.
3. Pada poros yang berputar kemudian dipasang teflon silinder yang di beri lubang pada porosnya agar bisa terpasang, kemudian spesimen uji dipasangkan di poros, kemudian di ujung poros juga diberikan teflon untuk mengunci poros sehingga putaran menjadi stabil agar spesimen tidak lepas.



4. Setelah semua terpasang, kabel dari dinamo disambungkan dengan Power Supply.
5. Mengukur kecepatan dengan RPM meter.



**Gambar 3.7** Bentuk Alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE)



**Gambar 3.8** Proses Pengujian

### **3.5 Pengujian pada Penelitian**

#### **3.5.1 Metode *Weight Loss***

Pengujian *weight loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan nilai laju korosi pada suatu logam berdasarkan pada pengurangan berat yang dialami oleh material tersebut. Dalam metode ini, sampel dengan berat tertentu dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada selang waktu yang berbeda. Dengan metode ini maka diketahui seberapa besar penurunan berat yang diakibatkan oleh proses korosi pada material uji. Sehingga bisa diketahui laju korosinya.

Langkah-langkah untuk melakukan pengujian *weight loss* yaitu:

1. Mempersiapkan sampel baja AISI 1045 yang telah diamplas untuk menghilangkan lapisan oksida yang menutupi permukaan sampel.
2. Mempersiapkan sampel tembaga yang telah diamplas untuk menghilangkan lapisan oksida yang menutupi permukaan sampel.
3. Menimbang berat awal sampel baja AISI 1045 dengan menggunakan timbangan digital.
4. Merangkai sampel baja AISI 1045 dan Tembaga dengan material teflon.



5. Memasang rangkaian sampel dan teflon pada RCE.
6. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % dan kemudian ditutup .
7. Menjalankan RCE sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 0 RPM, 150 RPM dan 250 RPM
8. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari dan kemudian dilakukan penimbangan berat akhir sampel dengan menggunakan timbangan digital.

**Tabel 3.1** Rancangan Data Hasil Uji *Weight Loss*

Kecepatan Putar (rpm)	Rasio Luasan (Baja: Tembaga)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Laju Korosi Rata-rata	Perbandingan dengan Rasio 1:1
0	1:1				
	4:1				
	1:4				
150	1:1				
	4:1				
	1:4				
250	1:1				
	4:1				
	1:4				

### 3.5.2 Pengujian Visual Mikroskop

Pengujian visual dilakukan untuk mengetahui bentuk dan kondisi pada permukaan baja karbon sedang AISI 1045 setelah dilakukan pengujian, terhadap karakteristik korosi *galvanic coupling*. Adapun alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah kamera digital Kodak EasyShare Touch M5370 dan *metallurgical microscope* Olympus BX51M-RF. Kamera digital digunakan untuk mengetahui tampilan atau bentuk secara makro dan *metallurgical microscope* digunakan untuk mendapatkan profil mikro.



(a)



(b)

**Gambar 3.9** Instrumen Pengamatan Visual, (a) Kamera Digital  
(b) *Metallurgical Microscope*

### 3.5.3 Pengujian XRD

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada baja AISI 1045 yang telah mengalami pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 10 hari, dengan menggunakan variabel kecepatan putar 250 RPM dan perbandingan luasan 1:4. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium



Karakterisasi Departemen Teknik Material. Gambar alat XRD ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Instrumen pengujian XRD Panalytical.

**Tabel 3.2** Rancangan Pengujian Keseluruhan

Kecepatan Putar (RPM)	Rasio Luasan (Baja 1045 : Tembaga)	Uji Weight Loss	Uji Visual Mikroskop	Uji XRD
0	1:1	√	√	-
	1:4	√	√	-
	4:1	√	√	-
150	1:1	√	√	-
	1:4	√	√	-
	4:1	√	√	-
250	1:1	√	√	-
	1:4	√	√	√
	4:1	√	√	-

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Pengujian Pengurangan Berat (*Weight Loss*)

Pengujian weight loss yang telah dilakukan selama sepuluh hari dengan variabel bebas kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dan Tembaga. Berikut ini adalah hasil pengujian weight loss selama sepuluh hari pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Perhitungan Laju Korosi Baja AISI 1045

RPM	Rasio AISI 1045 : Cu	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/yr)	Rata-rata Laju Korosi (mm/yr)	Perbandingan laju korosi dengan rasio 1:1	Perbandingan laju korosi dengan 0 RPM
0	1:1	0.009	0.128	0.109	0%	0%
		0.005	0.091			
		0.006	0.107			
	1:4	0.018	0.191	0.203	86%	0%
		0.020	0.200			
		0.020	0.217			
	4:1	0.002	0.008	0.018	-83%	0%
		0.003	0.011			
		0.009	0.036			

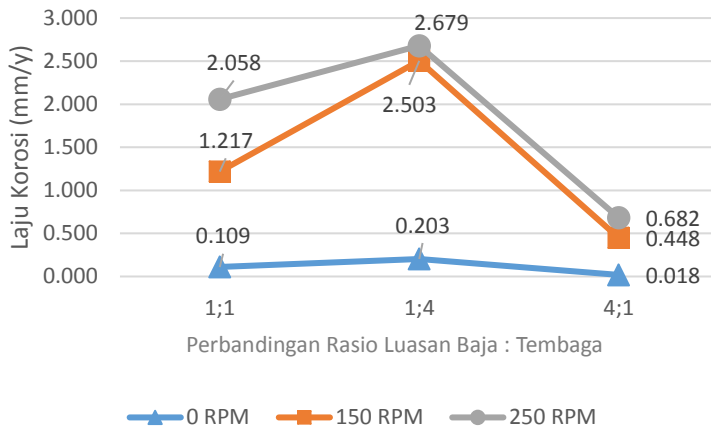




150	1:1	0.074	1.085	1.217	0%	1018%
		0.083	1.236			
		0.094	1.330			
	1:4	0.170	2.779	2.503	106%	1134%
		0.091	1.353			
		0.211	3.378			
	4:1	0.167	0.632	0.448	-63%	2338%
		0.090	0.342			
		0.094	0.371			
250	1:1	0.141	1.970	2.058	0%	1790%
		0.128	1.896			
		0.155	2.308			
	1:4	0.171	2.867	2.679	30%	1221%
		0.168	2.502			
		0.170	2.667			
	4:1	0.181	2.867	0.682	-67%	3605%
		0.134	2.502			
		0.224	2.667			



Dari data tersebut dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi pada setiap RPM



Gambar 4.1 Laju Korosi Baja AISI 1045 pada *galvanic coupling* akibat pengaruh rasio luasan

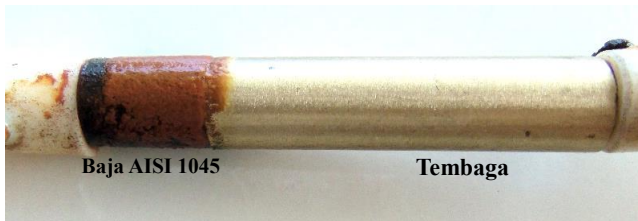
Gambar 4.1 menunjukkan laju korosi baja AISI 1045 yang telah dikopel dengan tembaga dalam larutan elektrolit NaCl 3,5% selama 10 hari diperoleh nilai laju korosi yang dipengaruhi kecepatan putar 0, 150, dan 250 RPM dan rasio luasan antara baja AISI 1045 dan Tembaga 1:1, 4:1, dan 1:4. Pada Tabel 4.1 nilai laju korosi tertinggi ketika kecepatan putar 250 RPM dan perbandingan rasio luasan 1:4 sebesar 2,6788 mm/tahun. Sedangkan yang memiliki nilai laju korosi terendah yaitu ketika kecepatan putar 0 RPM dan perbandingan rasio luasan 4:1 sebesar 0,0184 mm/tahun.

#### 4.1.2 Pengujian Visual

Dari pengujian weight loss baja AISI 1045 dan Tembaga yang telah dikopel dalam larutan NaCl 3,5% selama 10 hari dengan metode RCE diperoleh foto makro dari spesimen uji menggunakan kamera digital sebagai berikut.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.2** Hasil Pengamatan Makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 0 RPM



Gambar 4.2 ditunjukkan foto makro dengan kecepatan 0 RPM. Gambar (a) dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:1, terlihat produk korosi yang mengendap pada permukaan baja tidak banyak sekitar 10% dari permukaan baja dan baja tampak lebih gelap dibandingkan sebelum direndam pada larutan NaCl. Pada Gambar (b) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:4, terlihat produk korosi yang cukup banyak hingga 75% dari permukaan baja. Pada Gambar (c) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 4:1, terlihat produk korosi mengendap pada 40% permukaan baja tertutup oleh produk korosi. Pada baja yang di dekat sambungan dengan tembaga terlihat lebih gelap dibandingkan dengan baja yang diujung lainnya yang terlihat masih berwarna abu-abu, sesuai dengan warna sebelum perendaman.



(a)



(b)



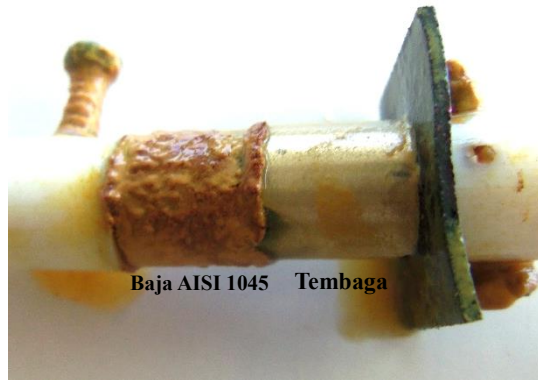
(c)

**Gambar 4.3** Hasil Pengamatan Makro Pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 150 RPM

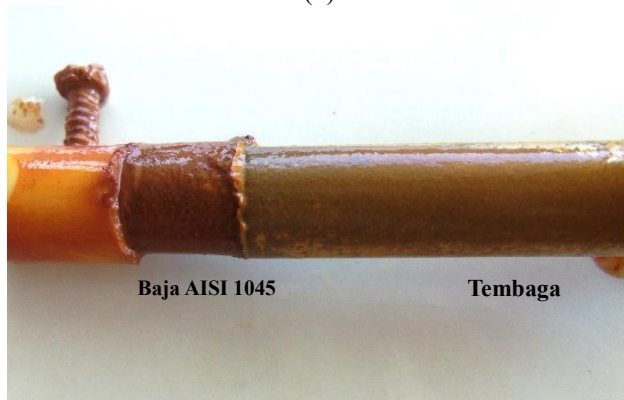
Gambar 4.3 ditunjukkan foto makro dengan kecepatan 150 RPM. Gambar (a) dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:1, terlihat produk korosi yang mengendap pada permukaan baja dekat



dengan sambungan *galvanic coupling* sekitar 60% dari permukaan baja dan tampak produk korosi lebih banyak yang mengendap dibandingkan dengan Gambar 4.2 pada saat 0 RPM. Pada Gambar (b) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:4, terlihat produk korosi hingga 100% rata pada permukaan baja. Pada Gambar (c) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 4:1, terlihat produk korosi mengendap pada 80% permukaan baja tertutup oleh produk korosi dan lebih banyak pada daerah yang dekat dengan sambungan *galvanic coupling*.



(a)



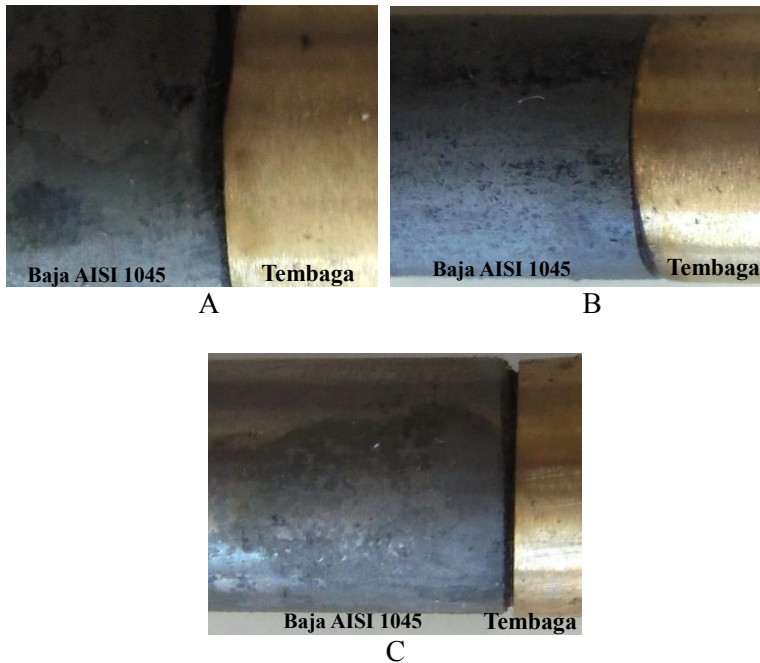
(b)



(c)

**Gambar 4.4** Hasil Pengamatan Makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 250 RPM

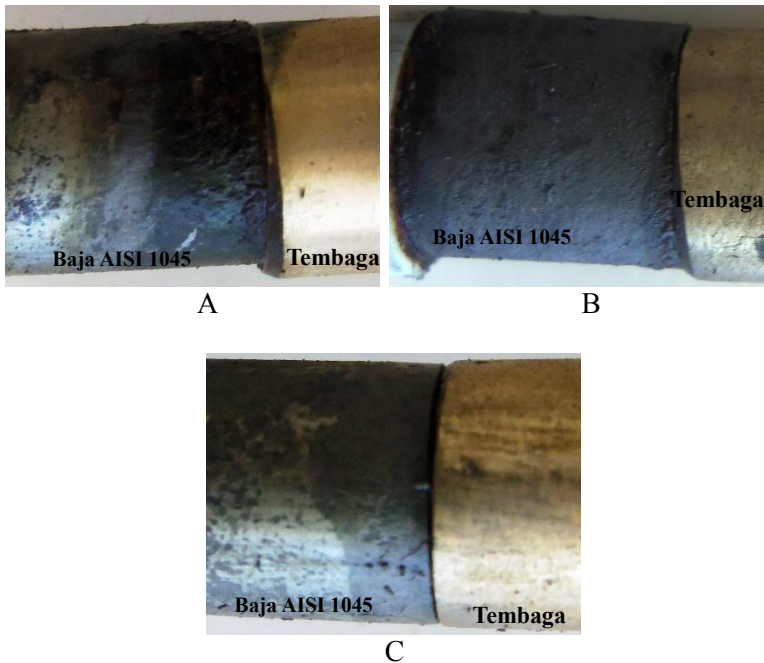
Gambar 4.4 ditunjukkan foto makro dengan kecepatan 250 RPM. Gambar (a) dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:1, terlihat produk korosi yang mengendap pada permukaan baja dekat dengan sambungan *galvanic coupling* sekitar 95% dari permukaan baja dan tampak produk korosi lebih banyak yang mengendap dibandingkan dengan Gambar 4.3 pada saat 150 RPM. Pada Gambar (b) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 1:4, terlihat produk korosi hingga 100% rata pada permukaan baja dan terlihat menumpuk pada daerah dekat dengan *galvanic coupling*. Pada Gambar (c) ditunjukkan foto makro dengan rasio luasan baja dan tembaga 4:1, terlihat produk korosi mengendap pada 90% permukaan baja tertutup oleh produk korosi dan lebih rata pada daerah yang dekat dengan sambungan *galvanic coupling*.



**Gambar 4.5** Hasil Pengamatan Makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) Setelah Dibersihkan dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 0 RPM

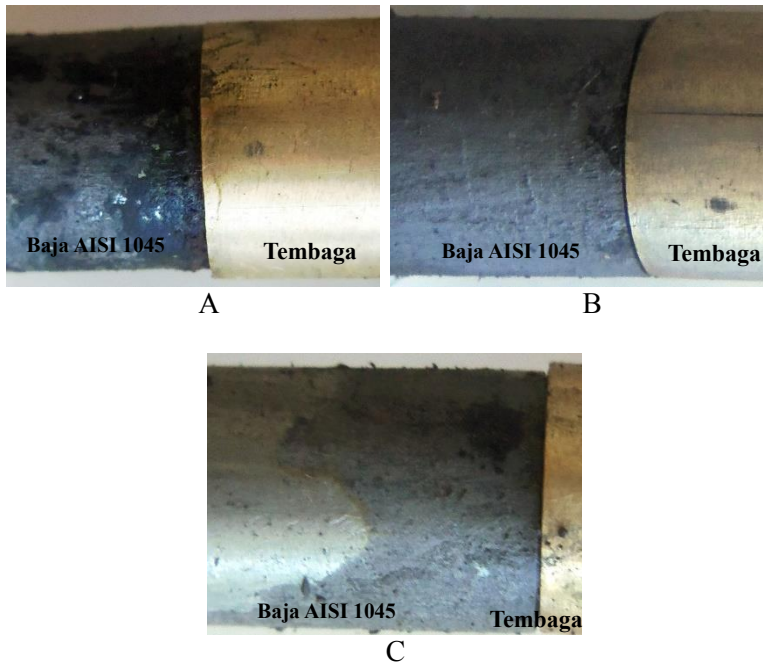
Gambar 4.5 ditunjukkan pengamatan pada sambungan baja dan tembaga setelah dibersihkan dengan variasi kecepatan putar 0 RPM. Pada gambar A rasio luasan 1:1 terlihat ada pola yang tampak lebih gelap tempat terjadinya korosi dengan bentuk segitiga ada di sekitar sambungan. Pada Gambar B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang jelas karena hampir seluruh permukaan menjadi lebih gelap dengan warna yang sama. Gambar C rasio 4:1 terlihat pola yang lebih memanjang dibandingkan dengan pola pada rasio 1:1.





**Gambar 4.6** Hasil Pengamatan Makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) Setelah Dibersihkan dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 150 RPM

Gambar 4.6 ditunjukkan pengamatan pada sambungan baja dan tembaga setelah dibersihkan dengan variasi kecepatan putar 150 RPM. Pada gambar A rasio luasan 1:1 pada per terlihat ada pola yang tampak lebih gelap di sekitar sambungan hingga  $\frac{1}{3}$  baja. Pada Gambar B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang jelas karena hampir seluruh permukaan menjadi lebih gelap dengan warna yang sama. Gambar C rasio 4:1 terlihat pola yang hampir sama dengan pola pada rasio 1:1, tetapi pada ujungnya ada pola yang memanjang.



**Gambar 4.7** Hasil Pengamatan Makro pada AISI 1045 (kiri) dengan Tembaga (kanan) Setelah Dibersihkan dengan Perbandingan Luasan (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada Kecepatan 250 RPM

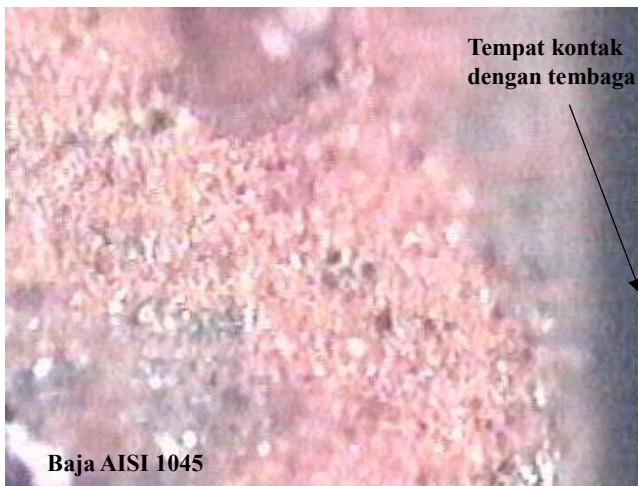
Gambar 4.7 ditunjukkan pengamatan pada sambungan baja dan tembaga setelah dibersihkan dengan variasi kecepatan putar 250 RPM. Pada gambar A rasio luasan 1:1 pada per terlihat ada pola yang tampak lebih gelap di sekitar sambungan hingga  $\frac{1}{3}$  baja tetapi memiliki ujung yang lebih tajam dibanding pada Gambar 4.7 B. Pada Gambar B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang jelas karena hampir seluruh permukaan menjadi lebih gelap dengan warna yang sama. Gambar C rasio 4:1 terlihat pola yang lebih panjang dibandingkan dengan Gambar A dan terlihat lebih lancip pada ujungnya.



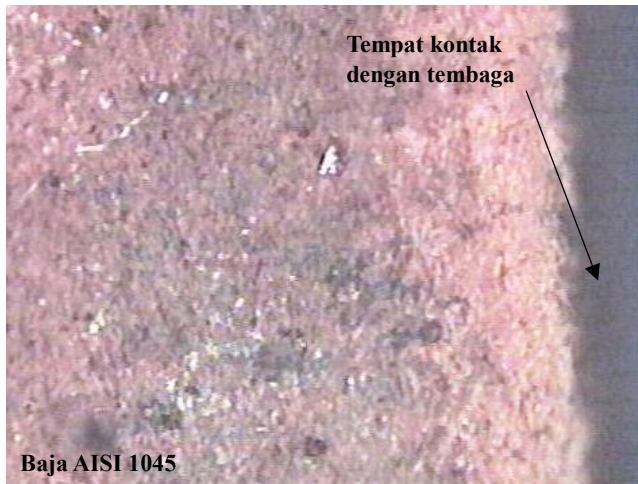
---

#### 4.1.3 Pengujian Mikroskop Metalurgi

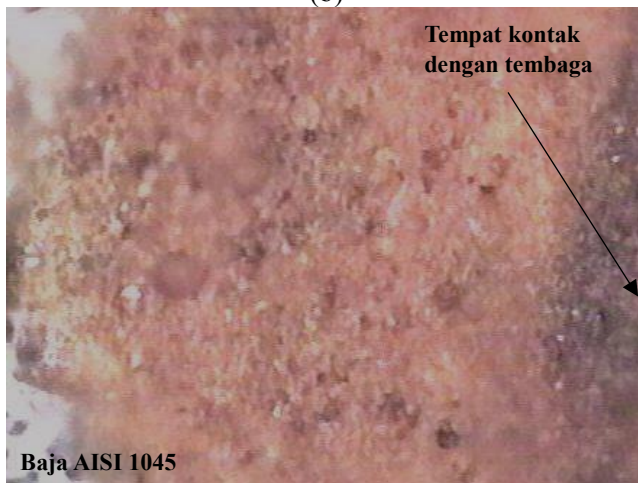
Pengujian mikroskop metalurgi dilakukan untuk mengetahui permukaan produk korosi pada spesimen baja yang telah direndam selama 10 hari pada elektrolit NaCl 3,5% dengan kecepatan putar 0 RPM, 150 RPM, dan 250 RPM. Lokasi pengambilan gambar mikro terletak dekat dengan bagian baja yang terkena kontak langsung dengan tembaga karena produk korosi terbentuk lebih banyak pada lokasi dekat dengan sambungan antar logam.



(a)



(b)

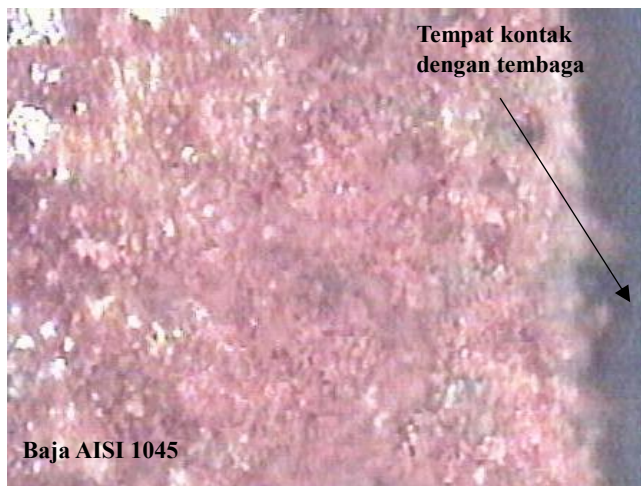


(c)

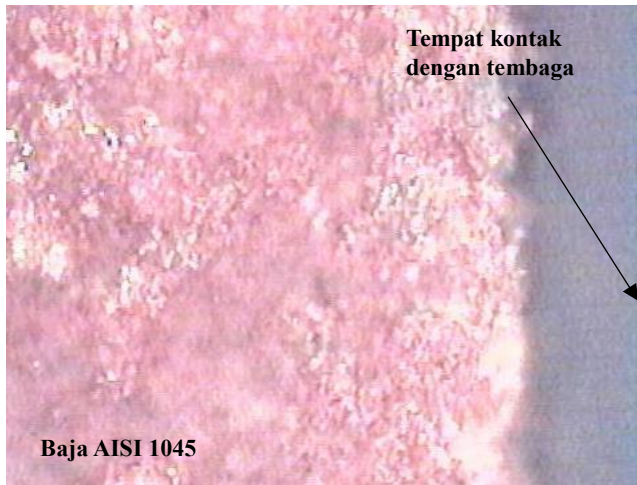
**Gambar 4.8** Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 0 RPM



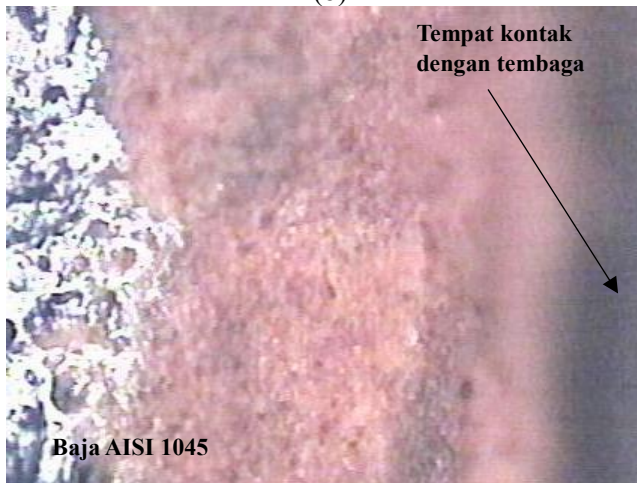
Gambar 4.8 ditunjukkan hasil pengamatan mikro pada perbesaran 100x dengan kecepatan putar 0 RPM. Pada Gambar (a) perbandingan 1:1 terlihat permukaan produk korosi yang cukup tebal dan hampir rata pada permukaan. Gambar (b) perbandingan 1:4 hampir sama dengan Gambar (a) tetapi lebih rata dan terlihat terjadi penumpukan produk korosi lebih banyak pada ujung yang berdekatan dengan tembaga. Gambar (c) menunjukkan produk korosi yang juga rata, tetapi terlihat diujung kiri atas dan bawah terlihat baja yang belum terkorosi. Sehingga diketahui ketika perbandingan 4:1 produk korosinya lebih sedikit dibandingkan dengan yang lainnya



(a)



(b)



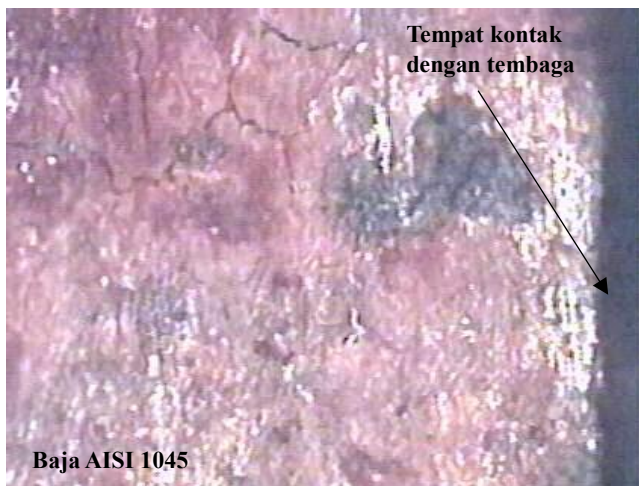
(c)

**Gambar 4.9** Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 150 RPM

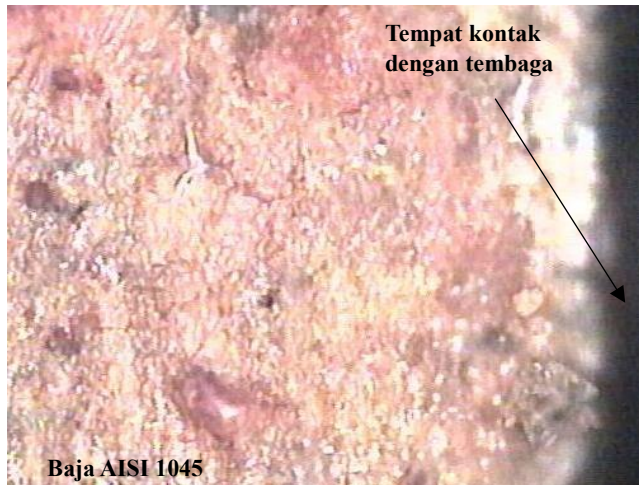




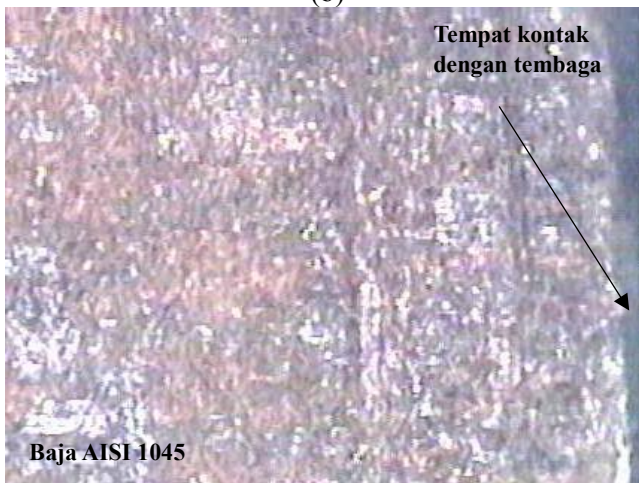
Gambar 4.9 ditunjukkan hasil pengamatan mikro pada perbesaran 100x dengan kecepatan putar 150 RPM. Pada Gambar (a) perbandingan 1:1 terlihat permukaan produk korosi yang hampir rata pada permukaan ada bagian abu-abu pada ujungnya sedikit yang menunjukkan warna baja. Gambar (b) perbandingan 1:4 hampir sama dengan Gambar (a) tetapi lebih rata produk korosinya. Gambar (c) menunjukkan produk korosi yang juga rata, tetapi terlihat baja yang belum terkorosi disebelah kiri yaitu tempat yang tidak bersentuhan langsung dengan tembaga. Sehingga diketahui ketika perbandingan 4:1 produk korosinya lebih sedikit dibandingkan dengan yang lainnya.



(a)



(b)



(c)

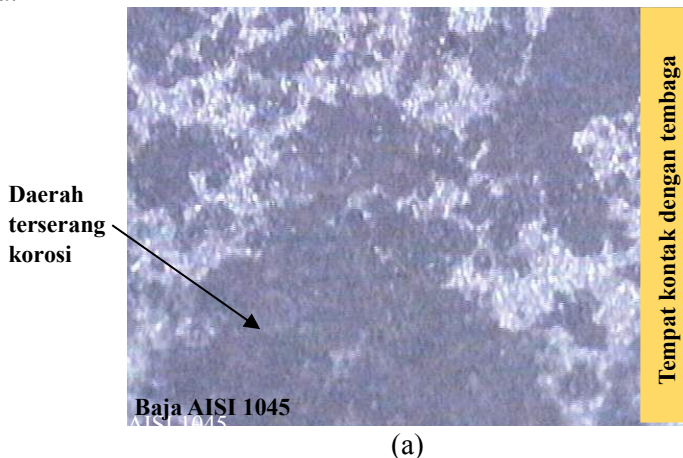
**Gambar 4.10** Hasil pengamatan mikro perbesaran 100x pada baja AISI 1045 dengan perbandingan luasan baja dan tembaga (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1 pada kecepatan 250 RPM



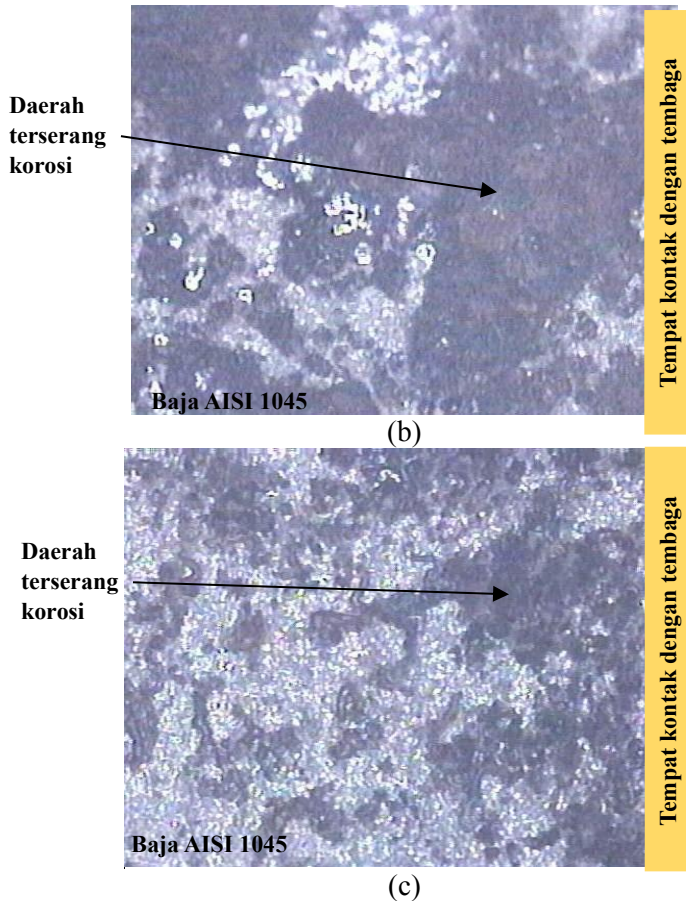


Gambar 4.10 ditunjukkan hasil pengamatan mikro pada perbesaran 100x dengan kecepatan putar 250 RPM. Pada Gambar (a) perbandingan 1:1 terlihat permukaan produk korosi yang lebih sedikit dibandingkan dengan Gambar 4.9. Gambar (b) perbandingan 1:4 lebih rata pada permukaan. Gambar (c) menunjukkan produk korosi yang juga rata, tetapi terlihat tidak begitu tebal dibandingkan gambar (b). Sehingga diketahui ketika perbandingan 4:1 produk korosinya lebih sedikit dibandingkan dengan yang lainnya.

Berikut merupakan morfologi permukaan baja setelah dibersihkan dari lapisan produk korosi yang menutupi permukaan baja.



(a)

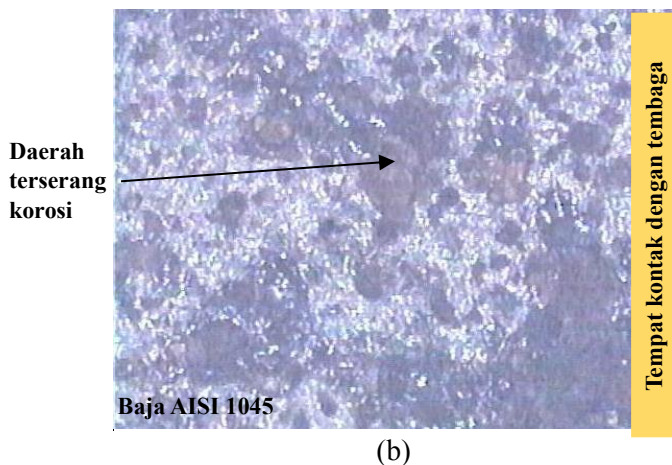
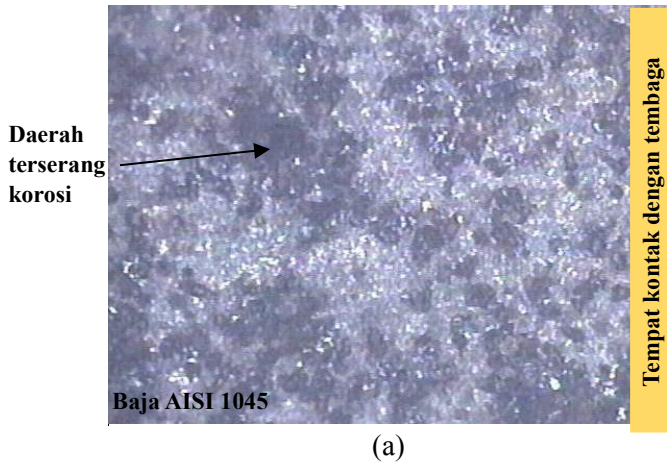


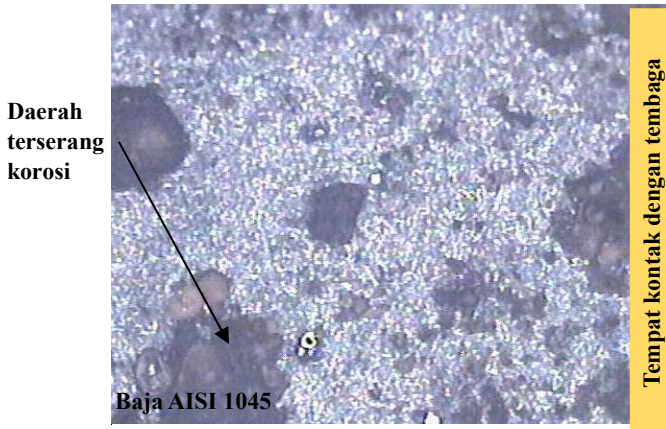
**Gambar 4.11** Morfologi permukaan spesimen baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 0 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Gambar 4.11 menunjukkan morfologi permukaan baja pada kecepatan putar 0 rpm setelah dibersihkan dari lapisan produk korosi yang menempel pada permukaan baja. Tampak pada gambar terdapat bagian berwarna hitam merupakan daerah yang terserang



korosi pada permukaan baja. Pada 0 RPM daerah yang terserang korosi cenderung memiliki ukuran yang besar tetapi sedikit di sekitar permukaan kontak. Pada Rasio luasan 1:4 memiliki bagian yang terserang korosi hampir sama dengan rasio luasan 1:1, tetapi lebih luas. Pada Rasio Luasan 4:1 memiliki daerah yang terserang korosi lebih sedikit.





(c)

**Gambar 4.12** Morfologi Permukaan Spesimen Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 150 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Pada kecepatan putar 150 RPM, Daerah yang terserang korosi lebih kecil kecil tetapi banyak dibandingkan 0 RPM seperti tampak pada Gambar 4.12. Pada rasio luasan 1:4 memiliki daerah yang terserang korosi lebih banyak dibanding rasio luasan 1:1. Pada rasio luasan 4:1 memiliki daerah terserang korosi lebih jarang dibandingkan rasio luasan 1:1.

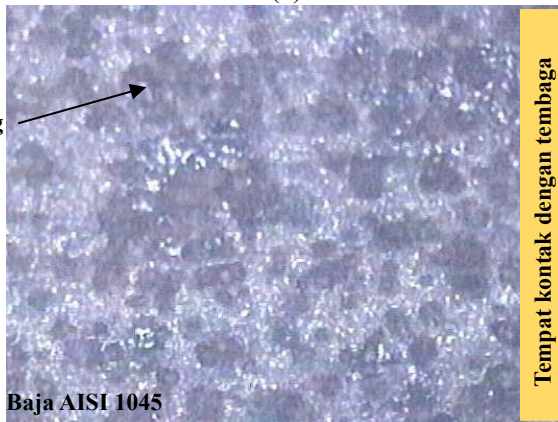


**Daerah  
terserang  
korosi**



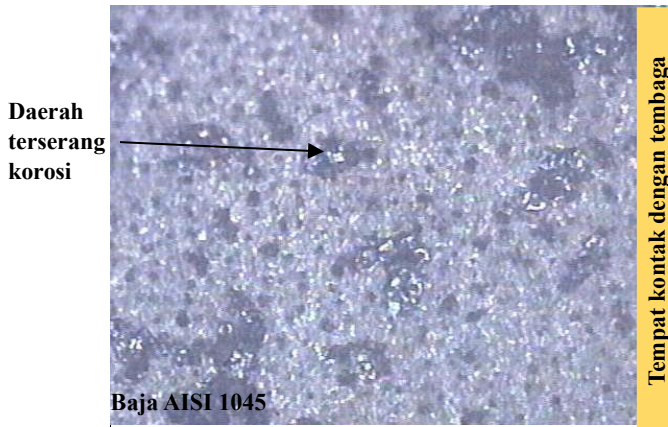
(a)

**Daerah  
terserang  
korosi**



(b)



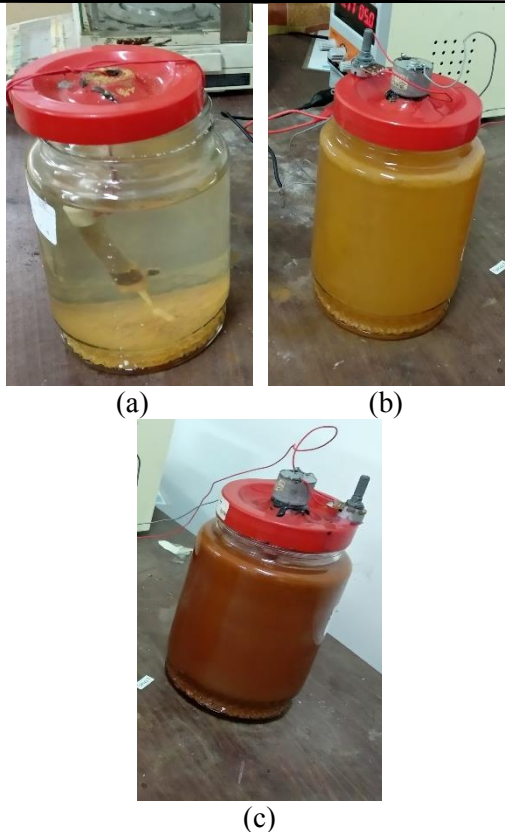


(c)

**Gambar 4.13** Morfologi Permukaan Spesimen Baja AISI 1045 dengan perbesaran 50x pada 250 rpm setelah dibersihkan dari produk korosi yang menempel, (a) 1:1, (b) 1:4, dan (c) 4:1

Pada kecepatan putar 250 RPM ditunjukkan pola yang sama dengan kecepatan putar 150 RPM ditunjukkan pada gambar 4.13. Pada rasio luasan 1:4 memiliki daerah yang terserang korosi lebih banyak dibanding rasio luasan 1:1. Pada rasio luasan 4:1 memiliki daerah terserang korosi lebih jarang dibandingkan rasio luasan 1:1.

Pada pengamatan visual pada alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) setelah dilakukan pengujian dengan kecepatan putar 0, 150, dan 250 RPM sebagai berikut.



**Gambar 4.14** Foto Alat RCE dengan spesimen rasio 1:4 pada kecepatan (a) 0 RPM, (b) 150 RPM, dan (c) 250 RPM

Gambar 4.14 menunjukkan alat RCE yang diberikan kecepatan putar 0 RPM, 150 RPM, dan 250 RPM. Gambar (a) dengan kecepatan putar 0 RPM terlihat larutan masih tembus cahaya, baja-tembaga terlihat dengan jelas, dan ada endapan korosi di bawah toples. Gambar (b) dengan kecepatan putar 150 RPM terlihat larutan keruh akibat endapan korosi. Gambar (c) dengan kecepatan 250 RPM terlihat lebih gelap dibandingkan dengan 150 RPM.



#### 4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynold

Bilangan reynold digunakan untuk mengetahui profil aliran yang terbentuk pada saat percobaan. Pada penelitian ini, sampel diberi kecepatan putar sebesar 0 RPM, 150 RPM dan 250 RPM pada alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Nilai kecepatan putar tersebut dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.5, 2.6, dan 2.7 untuk mendapatkan nilai bilangan reynold pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Bilangan Reynold dan Kecepatan Linier pada Setiap Kecepatan Putar

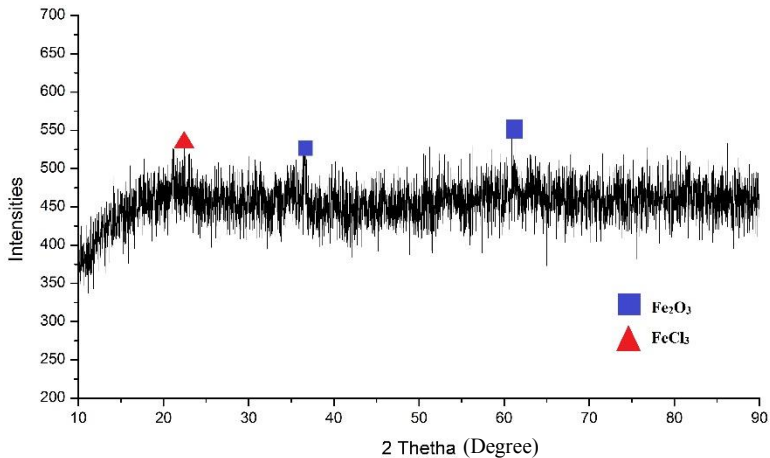
Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Putar Linier (cm/s)	Bilangan Reynold
0	0	0
150	7,854	940,311
250	13,090	1567,186

Dari hasil perhitungan, pada kecepatan 0 RPM memiliki kecepatan putar linier, bilangan Reynold bernilai 0. Pada kecepatan 150 RPM didapatkan kecepatan putar linier sebesar 7,854 cm/s, bilangan Reynold sebesar 940,311. Pada kecepatan 250 RPM memiliki kecepatan putar linier 13,090 cm/s, bilangan Reynold sebesar 1567,186.

#### 4.1.5 Pengujian XRD

Pada pengujian XRD dilakukan pada sampel yang telah mengalami proses pencelupan pada kecepatan putar sebesar 150 RPM dengan perbandingan rasio luasan 1:4 pada larutan NaCl 3,5%. Hasil pengujian XRD berupa grafik yang didapatkan dari *software Match! 3* seperti pada Gambar 4.15.





**Gambar 4.15** Hasil XRD pada baja AISI 1045 dengan perbandingan 1:4 dan kecepatan 250 RPM

**Tabel 4.3** Hasil Analisa Peak pada Pengujian XRD Baja dengan Kecepatan Putar 250 RPM dan Rasio Luasan 1:4

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.0907	45.71	0.1673	4.21246	86.06
36.6039	53.11	0.2676	2.45502	93.05
61.2700	70.27	0.0334	1.50920	100.00

Tabel 4.3 Menunjukkan peak yang dihasilkan pada pengujian XRD terletak pada 2 theta 36,6039 dan 61,2700. Posisi *peak* tersebut adalah posisi *peak* senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang merupakan produk korosi yang terbentuk akibat baja mengalami reaksi oksidasi dengan oksigen. Selain itu terdapat *peak* lain pada posisi 2 theta 21,0907. Posisi *peak* tersebut menunjukkan adanya senyawa  $\text{FeCl}_3$ .



## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode *weight loss* dengan variabel kecepatan putar sebesar 0 RPM, 150 RPM, dan 250 RPM, untuk variabel perbandingan rasio luasan antara baja AISI 1045 dan tembaga. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan grafik hasil pengujian, laju korosi meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar dan penurunan luasan baja. Pada sampel uji tanpa kecepatan putar dengan rasio luasan 1:4 mengalami kenaikan laju korosi sebesar 86% terhadap sampel uji dengan rasio luasan 1:1. Namun, saat rasio luasan 4:1, laju korosi mengalami penurunan sebesar 83%. Pada pengujian dengan kecepatan putar 150 rpm, sampel uji dengan rasio 1:4 mengalami kenaikan laju korosi sebesar 106% dan mengalami penurunan sebesar 63% saat rasio luasan 4:1. Sedangkan pada kecepatan putar 250 rpm, laju korosi mengalami kenaikan sebesar 30% dan penurunan sebesar 67%. Dari data tersebut didapatkan bahwasanya nilai laju korosi cenderung mengalami penurunan saat luasan baja lebih besar daripada luasan tembaga dan laju korosi meningkat ketika luasan baja lebih kecil daripada luasan tembaga. Semakin besar perbandingan rasio luasan katoda terhadap anoda maka meningkatkan laju korosi dari anoda, karena semakin luas permukaan material yang terkena larutan elektrolit untuk terjadi reaksi anodik dan katodik (Hasan.2014). Luasan anoda yang lebih kecil daripada luasan katoda menyebabkan meningkatnya laju korosi galvanic coupling karena semakin besar nilai kerapatan arus pada anoda, sehingga menyebabkan elektron mengalir lebih cepat dan semakin banyak anoda kehilangan elektronnya. Penurunan luasan anoda terhadap katoda maka kerapatan arus galvanic semakin meningkat sehingga menyebabkan laju korosi semakin besar (Zaki.2006). Korosi pada *galvanic coupling* terjadi karena adanya reaksi anodik dan katodik pada permukaan logam yang terendam elektrolit, pada reaksi anodik terjadi pembentukan ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan menghasilkan elektron. Akibat keluarnya ion  $\text{Fe}^{2+}$  menyebabkan pengurangan massa pada baja. Sedangkan pada katoda tidak melepas ion  $\text{Cu}^{2+}$ , sehingga pada tembaga tidak terjadi pengurangan massa. Elektron ditangkap oleh tembaga sehingga



terjadi reaksi katodik. Pada rasio luasan 1:4 memiliki laju korosi lebih tinggi dibandingkan ketika rasio luasan 4:1 karena luasan permukaan tembaga  $4\pi$  memiliki ruang yang lebih luas untuk elektron melakukan reaksi katodik. Sedangkan pada permukaan tembaga  $\pi$ , ruang yang digunakan untuk melakukan reaksi katodik lebih sempit sehingga menyebabkan reaksi anodik menjadi terhambat. Akibatnya laju korosi lebih rendah dibandingkan pada saat rasio luasan 1:4.

Tabel 4.1 menunjukkan adanya peningkatan laju korosi pada baja akibat dari peningkatan kecepatan putar. Pada perbandingan rasio luasan 1:1 dan kecepatan putar ketika kecepatan putar menjadi 150 RPM mengalami kenaikan laju korosi sebesar 1018%. Pada saat kecepatan naik menjadi 250 RPM laju korosi mengalami kenaikan dibandingkan kecepatan 0 RPM sebanyak 1790%. Pada perbandingan rasio luasan 1:4 dan kecepatan putar 150 RPM mengalami kenaikan laju korosi sebesar 1134%. Pada saat kecepatan naik menjadi 250 RPM laju korosi mengalami kenaikan dibandingkan kecepatan 0 RPM sebanyak 1221%. Pada perbandingan rasio luasan 4:1 dan kecepatan putar 150 RPM mengalami kenaikan laju korosi sebesar 2338%. Pada saat kecepatan naik menjadi 250 RPM laju korosi mengalami kenaikan dibandingkan kecepatan 0 RPM sebanyak 3605%. Adanya putaran meningkatkan laju korosi pada baja karena oksigen lebih mudah bergerak dalam larutan menuju permukaan logam yang meningkatkan reaksi katoda (reduksi oksigen) pada permukaan logam yang di kopel (Hasan.2014). Tabel 4.2 menunjukkan nilai *Reynold Number* mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar. Pada aliran berkecepatan tinggi, aliran mampu melarutkan produk korosi yang terbentuk pada permukaan (Zaki. 2006). Setelah produk korosi terlepas baja dan tembaga terekspos dengan larutan, sehingga reaksi korosi terjadi kembali dan muncul produk korosi pada permukaan baja. Proses ini terjadi berulang karena ada putaran. Akibat dari putaran yang melarutkan produk korosi, seiring dengan kenaikan kecepatan putar menyebabkan produk korosi yang terlarut semakin banyak seperti pada Gambar 4.14.



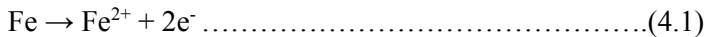
Gambar 4.2 merupakan gambar foto makro dari spesimen baja AISI 1045 yang telah dikopel dengan tembaga dan telah direndam dengan larutan NaCl 3,5% selama 10 hari tanpa putaran atau 0 RPM. Terlihat permukaan baja yang tidak terlalu banyak produk korosi yang mengendap. Pada Gambar 4.3 Kecepatan 150 RPM terlihat permukaan baja terdapat endapan yang lebih banyak dibandingkan pada 0 RPM akibat putaran alat RCE. Pada Gambar 4.4 Kecepatan 250 RPM hampir sama kondisinya dengan 150 RPM, tetapi endapan pada putaran 250 RPM lebih banyak. Pada gambar 4.5 foto makro kecepatan 0 RPM setelah baja dan tembaga dibersihkan, pada daerah dekat dengan sambungan galvanic coupling, Gambar 4.5A rasio luasan 1:1 memiliki pola korosi berbentuk segitiga. Gambar 4.5B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang terbentuk karena hampir sama warnanya di semua sisi. Gambar 4.5C rasio luasan 4:1 memiliki bentuk pola korosi memanjang dimulai dari ujung yang berdekatan dengan sambungan tembaga. Gambar 4.6 foto makro kecepatan 150 RPM setelah baja dan tembaga dibersihkan, pada daerah dekat dengan sambungan galvanic coupling, Gambar 4.6A rasio luasan 1:1 memiliki pola korosi yang memenuhi 1/3 bagian dari baja yang dimulai dari ujung yang kontak dengan tembaga. Gambar 4.6B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang terbentuk karena hampir sama warnanya di semua sisi. Gambar 4.6C rasio luasan 4:1 memiliki bentuk pola korosi yang memenuhi 1/3 bagian dari baja terdapat ujung yang memanjang, pola korosi ini juga dimulai dari ujung yang berdekatan dengan sambungan tembaga. Gambar 4.7 foto makro kecepatan 250 RPM setelah baja dan tembaga dibersihkan, pada daerah dekat dengan sambungan galvanic coupling, Gambar 4.7A rasio luasan 1:1 memiliki pola korosi yang memenuhi 1/3 bagian dari baja yang dimulai dari ujung yang kontak dengan tembaga tetapi memiliki bentuk lebih lancip pada 4.7B. Gambar 4.7B rasio luasan 1:4 tidak terlihat pola yang terbentuk karena hampir sama warnanya di semua sisi. Gambar 4.7C rasio luasan 4:1 memiliki bentuk pola korosi yang memenuhi 1/3 bagian dari baja dan terlihat lebih lancip pada ujungnya., pola



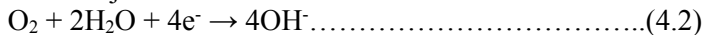
korosi ini dimulai dari ujung yang berdekatan dengan sambungan tembaga.

Gambar 4.8 menunjukkan foto mikro kecepatan putar 0 RPM produk korosi yang menempel pada baja karena tidak ada laju aliran yang menyebabkan produk korosi tetap berada di permukaan baja. Secara keseluruhan permukaan dari produk korosi lebih kasar dan rata dibandingkan pada 150 RPM sesuai pada Gambar 4.9. Pada kecepatan 250 RPM terlihat produk korosi yang lebih sedikit menumpuk pada permukaan dibandingkan dengan pada 150 RPM dan juga 0 RPM. Setelah baja dibersihkan terlihat permukaan baja pada Gambar 4.11 dengan kecepatan putar 0 RPM terlihat daerah yang terserang korosi besar dan hanya sedikit di beberapa tempat pada baja. Pada kecepatan putar 150 RPM sesuai pada Gambar 4.12 terlihat daerah yang terserang korosi lebih kecil dibandingkan dengan 0 RPM dan ada banyak di berbagai tempat pada baja. Pada kecepatan 250 RPM memiliki daerah yang terserang korosi lebih kecil dibandingkan dengan 150 RPM dan ada banyak di berbagai tempat di pada baja.

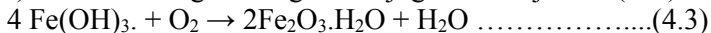
Pada pengujian XRD yang dilakukan pada spesimen dengan kecepatan putar 250 RPM dan perbandingan rasio baja dibanding tembaga 1:4, peak tertinggi terletak pada  $^{\circ}2\theta$ . 36.6039 yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Baja yang sebagai anoda melepas elektron sehingga terjadi reaksi



Pada katoda terjadi reaksi



Dari reaksi di anoda dan katoda tersebut maka terbentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ .  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  bereaksi dengan oksigen dan juga air menjadi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .



$\text{Fe}(\text{OH})_3$  bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Selain itu ada juga peak yang berada pada  $^{\circ}2\theta$ . 21.0907 yaitu  $\text{FeCl}_3$ .  $\text{FeCl}_3$  terbentuk akibat ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang bereaksi dengan ion  $\text{Cl}^-$  dari larutan.

---

## BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai studi pengaruh variasi kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dan Tembaga terhadap karakteristik korosi pada larutan NaCl 3,5% dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Laju korosi *galvanic coupling* baja AISI 1045 mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar dan penurunan luasan baja AISI 1045 terhadap Tembaga, namun laju korosi lebih dominan dipengaruhi oleh kecepatan putar.
2. Pada rasio luasan 1:1 pola korosi cenderung memenuhi 1/3 bagian baja, pada rasio 1:4 tidak terlihat pola korosinya akibat korosi merata pada permukaan, pada 4:1 cenderung memanjang pola korosinya, dan semua pola diawali dari sambungan baja dengan tembaga. Dari hasil XRD diduga hasil produk korosinya adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{FeCl}_3$ .

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian studi pengaruh variasi kecepatan putar dan rasio luasan baja AISI 1045 dan Tembaga terhadap karakteristik korosi pada larutan NaCl 3,5% adalah sebagai berikut.

1. Menambah variasi kecepatan putaran untuk mendapatkan karakteristik korosi pada lingkungan NaCl yang lebih akurat.
2. Memperhatikan sambungan antar logam sehingga kontak galvanic lebih menempel.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- . 1987. *ASM Handbook Volume 13A: Corrosion: Fundamentals Testing, and Protection*. ASM International Handbook Committee.
- Ahmad, Zaki. (2006). *Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier Science & Technology Books
- Arya, C. (1995). *Influence Of Cathode-To-Anode Area Ratio And Separation Distance On Galvanic Corrosion Currents Of Steel In Concrete Containing Chlorides*. *Cement and Concrete Research* Vol. 25 No.5
- Dong, C. F. (2010). *Erosion accelerated corrosion of a carbon steel–stainless steel galvanic couple in a chloride solution*
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering Third Edition*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Gabe. (1998). The rotating cylinder electrode: its continued. *JOURNAL OF APPLIED ELECTROCHEMISTRY* 28, 759-790.
- Hasan, Basim O. (2014). *Galvanic corrosion of carbon steel–brass couple in chloride containing water and the effect of different parameters*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*
- Jones, D. A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion*. Nevada: Practice Hall, INC.
- Lewis, R.J., Sr (Ed.). (2016). *Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 16th ed*. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., p. 564



- May, Mousa. (2016). *Corrosion behavior of mild steel immersed in different concentrations of NaCl solutions*. Journal of Sebha University. Vol.15. pp 1-12.
- Nouval, M. (2012). Pengaruh Rasio Luasan Terhadap Perilaku Korosi Galvanic Coupling Baja Stainless Steel 304 dan Baja Karbon Rendah AISI 1010. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 2*.
- O'Neil, M.J. (ed.). (2001). *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. 13th Edition, Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., p. 712
- Peabody, A. (2001). *Control of Pipeline Corrosion*. Houston: NACE Press.
- PINE, i. r. (2006). Technical Note. *Study of Mass-Transport Limited Corrosion Using Pine Rotating Cylinder Electrodes*.
- Rooij, A. de. (1989). *Bimetallic Compatible Couples*. ESA Journal Vol.13
- Sherif, El-Sayed M. (2012). *Electrochemical and Gravimetric Study on the Corrosion and Corrosion Inhibition of Pure Copper in Sodium Chloride Solutions by Two Azole Derivatives*. International Journal of Electrochemical Science. p1482-1495
- Trethewey, K., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Widharto, S., 2001. *Karat dan Pencegahannya*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

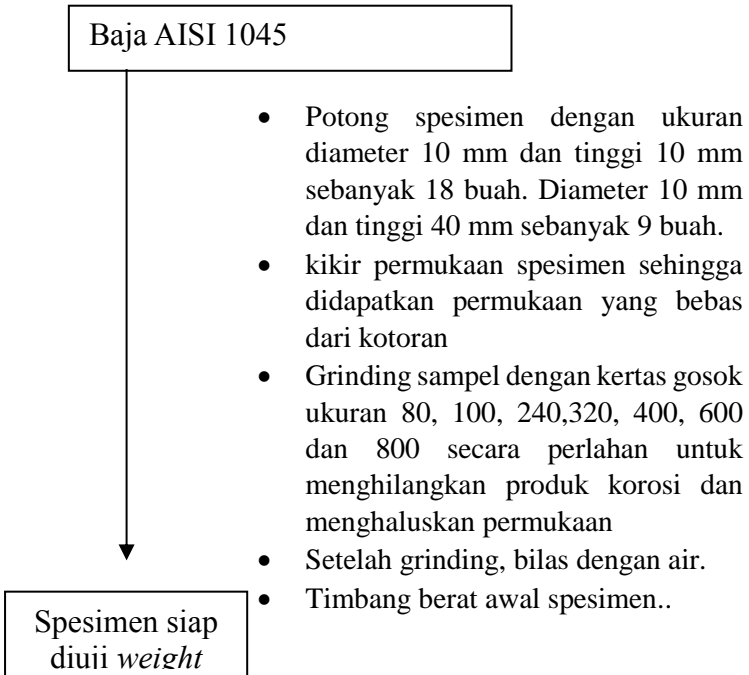
Xiao, K., Li, X., Dong, C., & Cheng, Y. (2010). *Erosion accelerated corrosion of a carbon steel–stainless steel galvanic couple in. Wear* 270, 39-45.

*(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)*

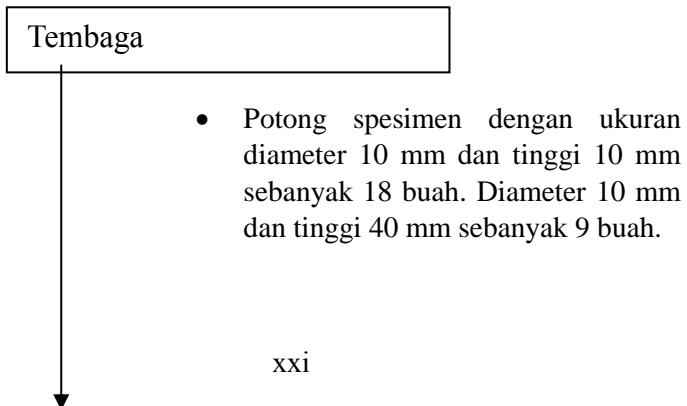
## LAMPIRAN

### Skema Kerja

#### 1. Pembuatan Spesimen Weight Loss



#### 2. Pembuatan Spesimen Tembaga untuk Kopel



Spesimen siap  
dikopel dengan  
baja

- kikir permukaan spesimen sehingga didapatkan permukaan yang bebas dari kotoran
- Grinding sampel dengan kertas gosok ukuran 80, 100, 240, 320, 400, 600 dan 800 secara perlahan untuk menghilangkan produk korosi dan menghaluskan permukaan
- Setelah grinding, bilas dengan air.
- Timbang berat awal spesimen..

### 3. Pembuatan Media Elektrolit

Serbuk NaCl

- Menuangkan aquades dalam *beaker glass* sebanyak 500 ml.
- Menimbang serbuk NaCl sebanyak 35 gram
- Mengaduk NaCl hingga terlarut seluruhnya
- Menambahkan aquades hingga 1000 ml.

Larutan 3,5% NaCl

### 4. Metode Uji Weight Loss

Bahan  
-Spesimen  
-Media Elektrolit

- Siapkan rangkaian RCE yang sudah terpasang spesimen.
- Siapkan toples sebagai tempat elektrolit.

- Masukkan larutan 3,5% NaCl kedalam toples.
- Rendam dan putar spesimen didalam toples berisi larutan 3,5% NaCl

Menunggu selama  
10 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan metode brushing dan penimbangan.
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen dengan peningkatan kecepatan putar 0 RPM, 150 RPM, 250 RPM

Mendapat  
Pengurangan Berat

## PERHITUNGAN *CORROSION RATE* METODE WEIGHT LOSS

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 150 RPM dan rasio luas 1:1

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76 \times 10^4 \times 0.084}{3.190 \times 240 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 1.217$$

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 150 RPM dan rasio luas 1:4

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76 \times 10^4 \times 0.157}{2.944 \times 240 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 2.503$$

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 150 RPM dan rasio luas 4:1

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76 \times 10^4 \times 0.117}{12.046 \times 240 \times 7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 0.448$$

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 250 RPM dan rasio luas 1:1

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTx D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76x10^4x0.141}{3,190x240x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 2.058$$

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 250 RPM dan rasio luas 1:4

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTx D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76x10^4x0.170}{2.994x240x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 2.679$$

Perhitungan laju korosi pada kecepatan utar 250 RPM dan rasio luas 4:1

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTx D}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.76x10^4x0.179}{12.201x240x7.87}$$



$$\text{Corrosion Rate} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = 0.682$$

Kecepatan Putar (RPM)	Rasio Luasan	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Luas Area (cm2)	Corrosion Rate (mm/y)	Rata-Rata CR (mm/y)
0	1:1	5.278	5.270	0.009	1	1	3.141592654	0.128	0.109
		4.460	4.455	0.005	0.91	0.98	2.801672328	0.091	
		4.655	4.649	0.006	0.9	0.98	2.77088472	0.107	
	4:1	21.189	21.187	0.002	4.04	1	12.69203432	0.008	0.018
		18.700	18.697	0.003	3.93	0.95	11.72913617	0.011	
		20.649	20.640	0.009	3.97	0.99	12.34740161	0.036	
	1:4	7.179	7.161	0.018	1.38	0.99	4.292043883	0.191	0.203
		7.569	7.549	0.020	1.46	0.99	4.540858021	0.200	
		6.858	6.839	0.020	1.36	0.98	4.187114689	0.217	
150	1:1	5.426	5.352	0.074	1.03	0.98	3.171123625	1.085	1.217
		5.177	5.094	0.083	1.03	0.96	3.106406816	1.236	
		5.565	5.471	0.094	1.08	0.97	3.291132464	1.330	
	4:1	20.083	19.916	0.167	4.01	0.97	12.21985294	0.632	0.448
		19.802	19.712	0.090	4	0.97	12.1893795	0.342	
		18.580	18.486	0.094	3.93	0.95	11.72913617	0.371	
	1:4	4.708	4.539	0.170	0.91	0.99	2.830260822	2.779	2.503
		5.146	5.055	0.091	1	0.99	3.110176727	1.353	
		4.854	4.643	0.211	0.93	0.99	2.892464356	3.378	

250	1:1	5.266	5.125	0.141	1.09	0.97	3.321605913	1.970	2.058
		5.110	4.982	0.128	1.03	0.97	3.13876522	1.896	
		5.154	5.000	0.155	1	0.99	3.110176727	2.308	
	4:1	20.504	20.323	0.181	3.99	0.98	12.28425559	0.682	0.682
		20.179	20.046	0.134	4	0.97	12.1893795	0.508	
		20.295	20.071	0.224	3.9	0.99	12.12968924	0.855	
	1:4	4.545	4.374	0.171	0.9	0.98	2.77088472	2.867	2.679
		5.200	5.032	0.168	1.03	0.96	3.106406816	2.502	
		4.942	4.772	0.170	0.95	0.99	2.954667891	2.667	

## PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60$$

Dimana :

$U_{cyl}$  : Kecepatan linear (cm/s)

$\omega$  : Kecepatan putar ( rad/s)

$r_{cyl}$  : Jari-jari luar spesimen (cm)

$d_{cyl}$  : Diameter luar spesimen (cm) (1 cm)

F : Kecepatan putar (RPM) (0, 150, 250 RPM)

Kecepatan linear pada 0 RPM

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times d_{cyl} \times F}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times 1 \times 0}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = 0$$

Kecepatan linear pada 150 RPM

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times d_{cyl} \times F}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times 1 \times 150}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = 7,854$$

Kecepatan linear pada 0 RPM

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times d_{cyl} \times F}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = \frac{\pi \times 1 \times 250}{60}$$

$$U_{cyl} \text{ (cm/s)} = 13,090$$

Rumus untuk menghitung Reynold Number adalah :

$$Re = \frac{\rho \times U_{cyl} \times d_{cyl}}{\mu}$$

Keterangan :  $\rho$  = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>) (1.007)

$U_{cyl}$  = Kecepatan rata-rata (m/s)

$d_{cyl}$  = Diameter pipa (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik (kg/m.s) (0,00841)

Perhitungan *reynold number* pada 0 RPM :

$$Re = \frac{\rho \times U_{cyl} \times d_{cyl}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.007 \times 0 \times 1}{0.00841}$$

$$Re = 0$$

Perhitungan *reynold number* pada 150 RPM :

$$Re = \frac{\rho \times U_{cyl} \times d_{cyl}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.007 \times 7,854 \times 1}{0.00841}$$

$$Re = 940,311$$

Perhitungan *reynold number* pada 0 RPM :

$$Re = \frac{\rho \times U_{cyl} \times d_{cyl}}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.007 \times 13,090 \times 1}{0.00841}$$

$$Re = 1567,186$$

### **PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT 3,5% NaCl**

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \rho \text{ air} + \rho \text{ NaCl} \\ &= (0,965 \text{ g/ml } 96,5\%) + (2,165 \text{ g/ml } 3,5\%) \\ &= 1,007 \text{ g/ml}\end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = \text{massa} / \text{volume}$$

$$1,007 = \text{massa} / 1000 \text{ ml}$$

$$\text{Massa} = 1007 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl} &= 3,5\% \text{ } 1007 \\ &= 35,245 \text{ gr}\end{aligned}$$

### **HASIL XRD**

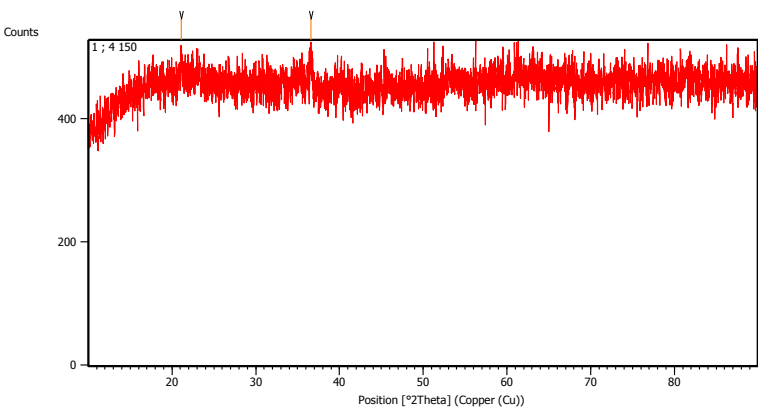
Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name 1 ; 4 250

File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian 2018\Mei\Wildan\1 ; 4 250\1 ; 4 250.rd	
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	5/14/2018 7:28:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	10.0084
End Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	89.9764
Step Size [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060

K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.0907	45.71	0.1673	4.21246	86.06
36.6039	53.11	0.2676	2.45502	100.00

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Document History: (*Bookmark 5*)

Insert Measurement:

- File name = 1
- 4 150.rd
- Modification time = "5/28/2018 9:25:08 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "5/28/2018 9:25:08 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

#### Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "11/24/2017 8:15:40 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"



*(Halaman sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ahmad Wildan Zakawali merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Ahmad Fuad dan Sri Winarti Ningsih yang lahir di Gresik 21 Maret 1996. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SD Muhammadiyah Sidayu pada tahun 2008 kemudian menyelesaikan Menengah Pertama di SMPN 1 Gresik pada tahun 2011 dan menyelesaikan Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Gresik pada tahun 2014.

Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2014.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Kadv Event Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTI-ITS (2016-2017), staff komisi kontrol Dewan Perwakilan Mahasiswa - ITS (2015-2016) dan staff divisi Humas LDJ Ash-haabul Kahfi (2015-2016). Penulis pernah kerja praktek di PT PERTAMINA (persero) RU VI Balongan dan PT PJB Gresik.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 0856-4848-7171 atau bisa hubungi di alamat email [wildanzakawali@gmail.com](mailto:wildanzakawali@gmail.com)